www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 26, 1964/65, no. 3

Stereofonische radio-omroep

I. Systemen en schakelingen

N. van Hurck, F. L. H. M. Stumpers en M. Weeda

534.76:621.396

Nadat reeds enkele jaren geleden grammofoons en platen voor stereofonische weergave in de handel kwamen, doet thans de stereofonie ook in de radio-omroep zijn intrede. In verschillende landen vinden reeds regelmatig stereofonische uitzendingen plaats. In dit artikel zullen de auteurs een aantal hiermede verband houdende kwesties behandelen. In deel I worden enkele mogelijkheden voor het overbrengen van stereofonische signalen besproken, waarbij nader wordt ingegaan op een systeem dat reeds veelvuldig toepassing vindt (het F.C.C.-systeem). In deel II zal de gevoeligheid voor storingen van stereofonische ontvangers ter sprake komen.

Inleiding

Nadat men lange tijd tevreden is geweest met de weergave van muziek via één akoestisch kanaal, heeft zich de laatste jaren het inzicht gevormd dat het ontbreken van de ruimtelijke geluidsgewaarwording een belangrijk gemis betekent. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van stereofonische grammofoons en magnetofoons, waarbij twee akoestische kanalen gevoed worden door twee verschillend gerichte microfoons of microfoongroepen. Vanzelfsprekend ging men zich afvragen of ook radioprogramma's stereofonisch overgebracht kunnen worden. Te meer drong deze vraag zich op door het feit dat voor hoorspelen, een specifiek produkt van de omroep, stereofonische weergave duidelijke voordelen biedt.

Voor een stereofonisch omroepsysteem wordt vooropgesteld dat het „compatibel" moet zijn. Deze eis, die eveneens een belangrijke rol speelt bij beschouwingen over de eventuele invoering van eenzijbandmodulatie [1] en van kleurentelevisie, komt hierop neer dat de uitgezonden signalen ook met de miljoenen reeds bestaande normale ontvangers voor de omroep, resp. voor zwart-wittelevisie, een bevredigende weergave mogelijk moeten maken. Een voor de hand liggende oplossing voor de stereo-omroep, waarmee men aanvankelijk inderdaad heeft geëxperimenteerd, nl. het overbrengen van de signalen van rechter- en linkermicrofoon via twee afzonderlijke radiozenders, wordt door de genoemde eis al dadelijk uitgeschakeld. Met een normale ontvanger ontvangt men dan immers slechts de signalen van één microfoon, en in de studio is geen van de twee microfoons zodanig opgesteld dat hiermede afzonderlijk een bevredigende weergave van het geheel wordt verkregen.

De gestelde vraag luidde dus: kan men stereofonische signalen overbrengen met één zender en één ontvanger op een zodanige wijze dat ook met niet-stereo-ontvangers („mono-ontvangers") een weergave met goede kwaliteit en geluidssterkte mogelijk is?

Deze vraag heeft in de gehele wereld tot onderzoekingen geleid. Daar het hier vaak uitzendingen met hoge kwaliteit betreft, heeft men bij dit onderzoek voornamelijk aandacht geschonken aan de omroep met frequentiemodulatie; alleen hier zijn nl. de nodige brede frequentiebanden beschikbaar. Een aantal voor dit frequentiegebied geschikte systemen is door een internationale werkgroep van de Europese Radio-Unie (European Broadcasting Union, E.B.U.) bestudeerd en deze is tot een keuze gekomen, welke is voorgelegd aan het Comité Consultatif International des Radiocommunica-

N. van Hurck, dr. F. L. H. M. Stumpers en ir. M. Weeda zijn medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven. Dr. Stumpers heeft in 1962 en 1963 deelgenomen aan besprekingen over stereofonie in C.C.I.R.- en E.B.U.-verband.

[1] Zie Th. J. van Kessel, „Compatible" eenzijbandmodulatie, Philips techn. T. **25**, 317-326, 1963 (no. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tions (C.C.I.R.), het internationale raadgevende orgaan van de International Telecommunication Union (I.T.U.). De C.C.I.R. kon echter in haar vergadering in 1963 nog niet tot een beslissing komen. Verschillende landen, waaronder Nederland, steunden een voorstel tot aanvaarding van een systeem dat goedgekeurd was door de Amerikaanse regeringsinstantie die zich met het radio- en televisiewezen bezighoudt, de Federal Communications Commission (F.C.C.); dit systeem wordt in Amerika reeds door een honderdtal zenders gebruikt. Zonder duidelijke technische bezwaren tegen dit systeem naar voren te brengen, meenden evenwel de vertegenwoordigers van andere landen dat de tijd nog niet rijp was voor een definitieve keuze. Men ziet wel in dat de aanvaarding van een zelfde systeem door alle landen vele voordelen biedt, maar kan soms nog geen afstand doen van een in nationaal verband onderzocht systeem, of wel men hoopt dat voor bepaalde problemen nog betere oplossingen zullen worden gevonden dan het onderzoek tot nu toe heeft opgeleverd. In dergelijke gevallen pleegt men in de C.C.I.R. niet bij meerderheid van stemmen te beslissen; men stelde de beslissing uit tot de volgende algemene vergadering, die in 1966 zal worden gehouden [2]. Het is echter te verwachten dat verschillende landen niet zo lang met de invoering van een stereofonisch omroepsysteem zullen wachten. In Nederland vinden reeds regelmatig uitzendingen volgens het bovengenoemde systeem plaats, terwijl de industrie hiervoor geschikte ontvangers heeft ontwikkeld. Het is te hopen dat het uitstellen van de beslissing van de C.C.I.R. niet zal leiden tot het invoeren van verschillende nationale systemen, zoals dit bij de televisie is gebeurd.

In hetgeen volgt zullen wij, na een algemene inleiding over verschillende mogelijkheden voor het overbrengen van stereofonische signalen, enkele aspecten bespreken van het door de F.C.C. aanvaarde systeem, dat in de regel kortweg als het „F.C.C.-systeem" wordt aangeduid [3]. In het tweede deel van dit artikel zullen de resultaten worden vermeld van onderzoekingen naar de gevoeligheid voor storingen van signalen die volgens het F.C.C.-systeem worden uitgezonden en die worden ontvangen hetzij met speciaal hiervoor ingerichte stereo-ontvangers, hetzij met normale (mono-) ontvangers.

Systemen voor het overbrengen van stereofonische signalen

Dat men met twee audiofrequentiekanalen een voor de meeste doeleinden bevredigend geluidsbeeld kan verkrijgen, is uit tal van onderzoekingen bekend. In dit laboratorium werd sinds 1939 hieromtrent onderzoek verricht, o.a. door K. de Boer en later door N. V. Franssen [4]. Naderhand is men zich gaan afvragen of voor het verkrijgen van een ruimtelijke indruk inderdaad twee volledige kanalen nodig zijn. Speciaal in Engeland heeft men dit onderzocht, en het gelukte Percival [5] en zijn medewerkers aan te tonen dat men indrukwekkende ruimtelijke geluidseffecten tot stand kan brengen door aan een normaal audiofrequentiekanaal een tweede kanaal met een bandbreedte van slechts 100 Hz toe te voegen. Bij demonstraties voor de Europese Radio-Unie konden echter de deskundigen van de omroeporganisaties niet worden overtuigd dat het systeem aan de door hen gestelde hoge kwaliteitseisen voldeed. Men heeft de keuze derhalve beperkt tot systemen met twee volledige audiofrequentiekanalen.

Om met één zender te kunnen uitkomen, werken alle systemen met een *hulpdraaggolf*, waarvan de frequentie hoger is dan de hoogste hoorbare geluidsfrequentie. Deze hulpdraaggolf wordt gemoduleerd met een der beide audiofrequente signalen. Het geheel, bestaande uit het andere audiofrequente signaal en de gemoduleerde hulpdraaggolf, wordt door modulatie op de hoofddraaggolf uitgezonden.

Ter wille van de compatibiliteit kiest men als audiofrequent signaal voor de directe modulatie de *som* van de signalen van rechter- en linkermicrofoon. Monoontvangers detecteren alleen de directe modulatie, en daar de som een soort gemiddelde is uit het linker- en rechtersignaal, kan hiermee een bevredigende weergave worden verkregen. Als audiofrequent signaal voor het moduleren van de hulpdraaggolf kiest men nu een signaal dat uit het *verschil* van rechter- en linkersignaal wordt verkregen. Heeft men in de ontvanger deze beide signalen (kortheidshalve spreken we van *somsignaal* en *verschilsignaal*) teruggewonnen, dan kan men met een eenvoudige schakeling de oorspronkelijke rechter- en linkersignalen weer verkrijgen, die men aan de luidsprekers wil toevoeren. Een voordeel van deze methode is nog dat bij stereo-ontvangst, doordat het rechter- en het linkersignaal dezelfde bewerkingen ondergaan, de weergavekwaliteit van beide dezelfde is. (Dit zou b.v. niet het geval zijn als men het linkersignaal door directe modulatie zou overbrengen en het rechtersignaal door modulatie op de hulpdraaggolf.)

De techniek van het werken met hulpdraaggolven is uit de telefonie welbekend. Men kan deze in amplitude of in frequentie moduleren. Hierbij zijn vele variaties mogelijk (men kan b.v. de draaggolf of één der zijbanden onderdrukken), waardoor men tot verschillende systemen komt. Ook in dit laboratorium is hieromtrent onderzoek verricht [6]. Enkele resultaten hiervan zijn in het volgende overzicht verwerkt.

De meeste onderzoekers hebben de voorkeur gegeven aan amplitudemodulatie, en wel vooral omdat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

1) hierbij een eenvoudiger detectiesysteem kan worden gebruikt,
2) bij bepaalde AM-systemen voor het somsignaal, dat direct op de uitgezonden draaggolf wordt gemoduleerd, een grotere frequentiezwaai beschikbaar is.

Om deze redenen houden wij ons in het volgende uitsluitend bezig met systemen waarbij de hulpdraaggolf in amplitude wordt gemoduleerd.

We zullen het uit linker- en rechtermicrofoon verkregen signaal voorstellen door resp. $L(t)$ en $R(t)$; verder voeren wij voor somsignaal en verschilsignaal resp. de notaties $M(t)$ en $S(t)$ in, dus:

$$M(t) = L(t) + R(t),$$

$$S(t) = L(t) - R(t).$$

Het signaal waarmede de uitgezonden draaggolf wordt gemoduleerd, bestaat dus bij deze methode uit $M(t)$ en de hulpdraaggolf, die zelf in amplitude is gemoduleerd met $S(t)$. Men kan derhalve dit signaal voorstellen door:

$$F(t) = M(t) + A(t) = M(t) + a\left\{1 + \frac{S(t)}{S_m}\right\} \sin \omega_h t \,. \quad (1)$$

Hierin is $A(t)$ de gemoduleerde hulpdraaggolf, waarvan a de amplitude en ω_h de hoekfrequentie is, terwijl S_m een constante is die de modulatiediepte bepaalt. Omdat uiteraard geen overmodulatie mag optreden, is S_m gelijk aan de maximale waarde die $S(t)$ mag bereiken.

Een interessant geval doet zich voor als a gelijk is aan S_m. Formule (1) gaat dan over in:

$$F(t) = M(t) + \{a + S(t)\} \sin \omega_h t. \quad . \; . \; . \; . \quad (2)$$

De bovenste en onderste „omhullende" van deze functie kunnen met zeer goede benadering worden gevonden door sin $\omega_h t$ achtereenvolgens $+1$ en -1 te stellen. We vinden dan voor het verloop van deze omhullenden resp.:

$$F_1(t) = a + M(t) + S(t) = a + 2L(t), \quad . \; . \quad (3a)$$

$$F_2(t) = -a + M(t) - S(t) = -a + 2R(t) \,. \quad (3b)$$

De wisselspanningscomponenten van deze omhullenden zijn dus resp. gelijk aan tweemaal het linker- en tweemaal het rechtersignaal. Wanneer wij ervoor zorgen dat zowel $L(t)$ als $R(t)$ kleiner blijven dan $\frac{1}{2}a$, blijft de ene omhullende steeds positief en de andere steeds negatief. Men kan dan met behulp van twee met tegengestelde polariteit geschakelde amplitudedetectoren uit het volledige signaal het linker- en het rechtersignaal verkrijgen.

Ter oriëntatie is in *fig. 1* de samenstelling van een op deze wijze gevormd signaal voorgesteld, en wel voor een

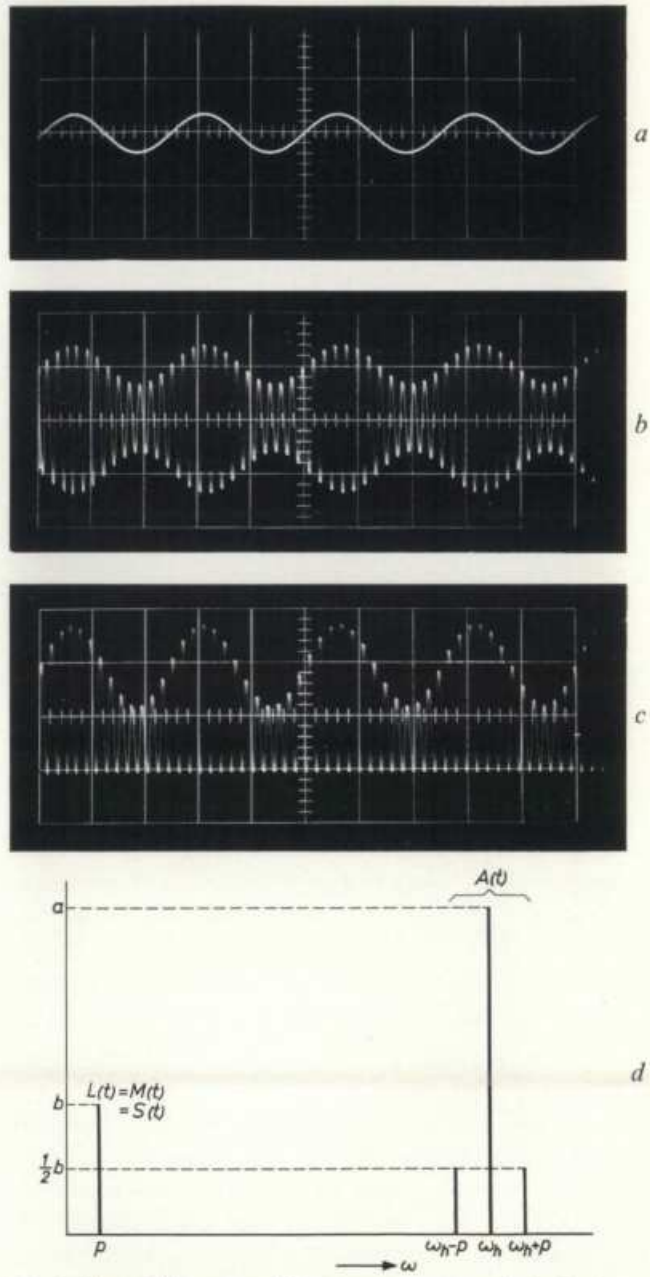


Fig. 1. Signaal bij een mogelijk systeem voor stereofonie. Ondersteld is hier dat alleen het linkersignaal $L(t)$ wordt uitgezonden.
a) Linkersignaal $L(t)$, in casu gelijk aan het somsignaal $M(t)$ en het verschilsignaal $S(t)$.
b) Gemoduleerde hulpdraaggolf $A(t)$.
c) Het volledige signaal $M(t) + A(t)$.
d) Het frequentiespectrum van het volledige signaal.

[2] De mogelijkheid bestaat dat reeds in de interim-vergadering in 1965 een voorlopige beslissing zal worden genomen.
[3] Naar de firma's die hieromtrent de eerste onderzoekingen deden, spreekt men ook van het „Zenith-General Electric systeem". Ook de naam „piloottoonsysteem" wordt wel gebruikt.
[4] Zie b.v. K. de Boer, Stereofonische afbeelding, Philips techn. T. **8**, 51-56, 1946; N. V. Franssen, Some considerations on the mechanism of directional hearing, proefschrift Delft, 1960.
[5] W. S. Percival, A compressed-bandwidth stereophonic system for radio transmission, Proc. Instn. Electr. Engrs. **106 B**, suppl. no. 14, 234, 1959.
[6] Zie b.v. F. L. H. M. Stumpers en R. Schutte, Stereophonische Übertragung von Rundfunksendungen mit FM-modulierten Signalen und AM-moduliertem Hilfsträger, Elektron. Rdsch. **13**, 445-446, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

eenvoudig geval, nl. waarbij alleen het linkersignaal aanwezig is. Hiervoor is een zuiver sinusoïdaal verloop aangenomen, $L(t) = b \sin pt$ (fig. 1*a*). Het rechtersignaal $R(t)$ is dus nul, en $M(t)$ zowel als $S(t)$ zijn gelijk aan $L(t)$. Fig. 1*b* toont de gemoduleerde hulpdraaggolf, die is voor te stellen door de formule:

$$A(t) = (a + b \sin pt) \sin \omega_h t. \quad . \; . \; . \quad (4)$$

In fig. 1*c* is het volledige signaal weergegeven. De formules voor de beide omhullenden zijn:

$$F_1(t) = a + 2b \sin pt,$$

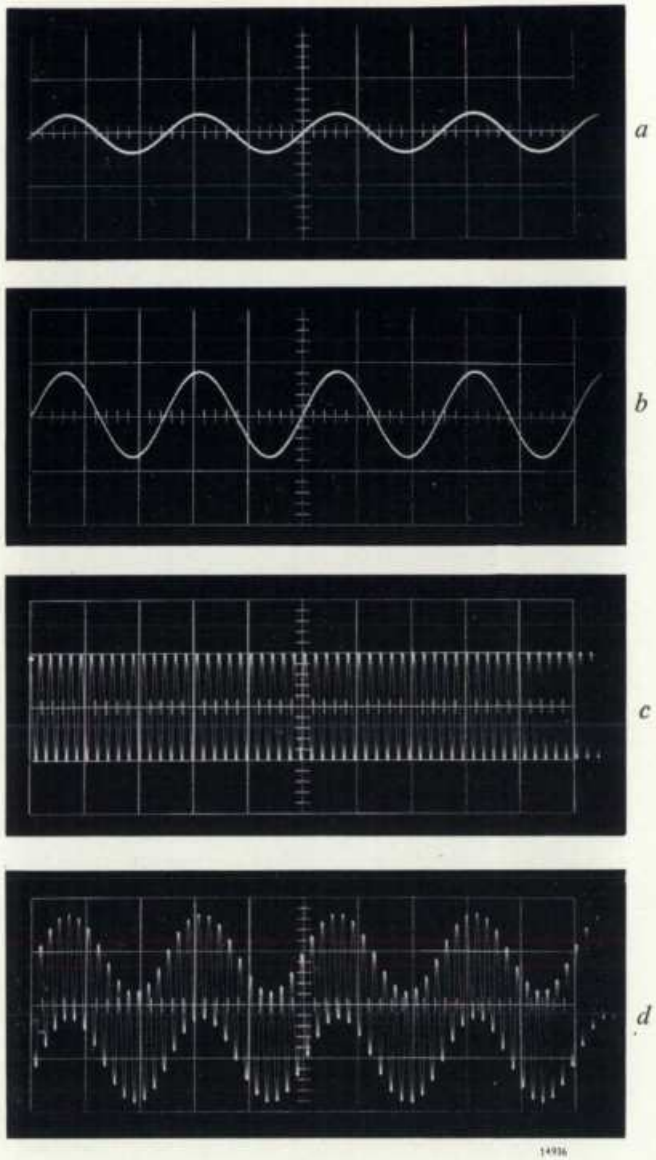
$$F_2(t) = -a.$$

Fig. 1*d* toont het frequentiespectrum van het signaal van fig. 1*c*. Zoals uit (4) is af te leiden, is de amplitude van de beide zijbanden gelijk aan $\frac{1}{2}b$.

Een signaal zoals bij wijze van voorbeeld in fig. 1*c* is geschetst, wordt dus op de uitgezonden hoogfrequente draaggolf gemoduleerd, en daar bij frequentiemodulatie de amplitude van het modulerende signaal de grootte van de frequentiezwaai bepaalt, mogen de omhullenden van het volledige signaal een bepaalde waarde niet overschrijden. Door de aanwezigheid van de hulpdraaggolf kan dus slechts een deel van de toelaatbare frequentiezwaai dienstbaar worden gemaakt voor het overbrengen van het somsignaal. De luisteraar die niet over stereo-apparatuur beschikt, ontvangt dan ook een signaal met een kleinere frequentiezwaai dan hij zou hebben ontvangen wanneer de uitzending niet-stereofonisch zou zijn. In het bijzondere geval waarop fig. 1 betrekking heeft, is de maximale waarde van de omhullende $F_1(t)$ gelijk aan $a + 2b$. (Hiermee correspondeert dus de maximale frequentiezwaai.) Wensen we nu dat, om de mogelijkheid van directe detectie te handhaven, $F_1(t)$ steeds positief blijft, dan mag b maximaal gelijk zijn aan $\frac{1}{2}a$. De maximale waarde van $F_1(t)$ is dan $4b$ en de frequentiezwaai voor het signaal $M(t) = b \sin pt$ mag dus in dit geval niet meer bedragen dan *een kwart* van de maximaal toelaatbare zwaai.

Minder ongunstig is in dit opzicht de situatie in een ander bijzonder geval, nl. wanneer linker- en rechtersignaal gelijk zijn, dus $L(t) = R(t) = b \sin pt$ (*fig. 2a*). Het somsignaal $M(t)$ heeft nu de amplitude $2b$ (fig. 2*b*) en het verschilsignaal $S(t)$ is nul; de hulpdraaggolf blijft dus ongemoduleerd (fig. 2*c*). Het volledige stereosignaal verloopt nu volgens fig. 2*d*, en we zien dat de frequentiezwaai van $M(t)$ nu *de helft* mag bedragen van de maximaal toelaatbare zwaai. Ten slotte toont fig. 2*e* ook voor dit geval het spectrum.

In de praktijk zullen de in de figuren 1 en 2 voorgestelde eenvoudige gevallen zich uiteraard zelden voordoen, maar toch blijft het feit bestaan dat de frequentiezwaai van het somsignaal veel kleiner moet zijn dan



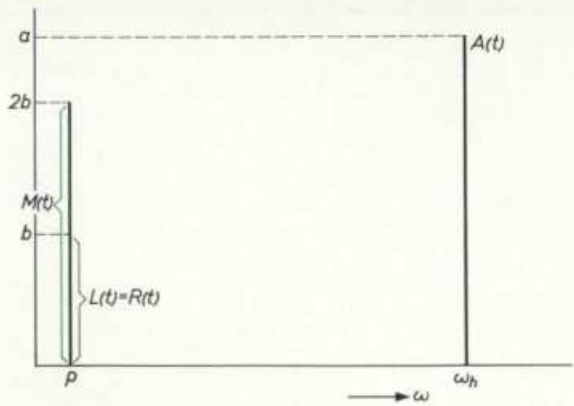


Fig. 2. Stereofoniesignaal bij hetzelfde systeem waarvoor fig. 1 geldt. Thans is ondersteld dat de linker- en rechtersignalen gelijk zijn.
a) Linker- en rechtersignaal $L(t) = R(t)$.
b) Somsignaal $M(t)$.
c) Hulpdraaggolf $A(t)$.
d) Het volledige signaal $M(t) + A(t)$.
e) Het frequentiespectrum van het volledige signaal.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de in een FM-kanaal toegelaten zwaai. Hierdoor wordt voor een luisteraar die niet over stereo-apparatuur beschikt, het voordeel verminderd dat frequentiemodulatie biedt ten opzichte van amplitudemodulatie (kleinere gevoeligheid voor storingen). In dit opzicht kan men de situatie verbeteren door de amplitude van de hulpdraaggolf kleiner te kiezen, waardoor voor het somsignaal een groter gedeelte van de toegelaten frequentiezwaai beschikbaar komt. Hierbij wordt echter voor de *stereo*luisteraar een ongunstiger situatie geschapen in dier voege dat voor de hulpdraaggolf en dus ook voor het verschilsignaal de signaal-ruisverhouding kleiner wordt. Dit is te meer onaangenaam omdat ten gevolge van de hogere frequentie van de hulpdraaggolf de signaal-ruisverhouding van het verschilsignaal toch al slechter is dan die van het somsignaal. (Wij komen hierop in het tweede deel nader terug.) Men mag dus de sterkte van de hulpdraaggolf niet te klein kiezen.

Er zijn ook proeven gedaan met een systeem waarbij de sterkte van de hulpdraaggolf zodanig door het verschilsignaal wordt beïnvloed dat de modulatiediepte hiervan steeds bijna 100% bedraagt. Dit heeft bepaalde voordelen, o.a. een verminderde gevoeligheid voor storing door andere zenders, terwijl een volgens dit systeem werkende zender zelf ook andere zenders minder stoort. Tegen dit systeem bestaan evenwel verschillende bezwaren. Een der voornaamste is wel dat bij detectie van signalen met grote modulatiediepte gemakkelijk een ontoelaatbare vervorming kan optreden.

Systeem met onderdrukte hulpdraaggolf

Van Amerikaanse zijde kwam toen het voorstel om de hulpdraaggolf geheel te onderdrukken, dus alleen de beide zijbanden hiervan op de hoofddraaggolf te moduleren. Om detectie van het verschilsignaal mogelijk te maken, kan echter de hulpdraaggolf niet worden gemist en daarom moet deze in de ontvanger weer worden opgewekt. Als hulpmiddel hiertoe wordt mede een signaal uitgezonden waarvan de frequentie gelijk is aan de helft van die van de (onderdrukte) hulpdraaggolf. We zullen dit signaal met $P(t)$ aanduiden en de gebruikelijke benaming „*pilootsignaal*" ervoor bezigen. De beide zijbanden van de (onderdrukte) hulpdraaggolf noemen wij het „*stereohulpsignaal*", waarvoor wij de notatie $H(t)$ invoeren. Bij dit systeem, het in de inleiding reeds genoemde F.C.C.-systeem, heeft men als frequentie van de hulpdraaggolf 38 kHz gekozen; de frequentie van het pilootsignaal is derhalve 19 kHz. Het op de hoofddraaggolf te moduleren signaal, dat wij zullen aanduiden als het „*multiplexsignaal*", $F(t)$, bestaat dus uit drie delen, nl.

a) het somsignaal $M(t)$,
b) het stereohulpsignaal $H(t)$, en
c) het pilootsignaal $P(t)$.

De formule hiervoor luidt:

$$F(t) = M(t) + H(t) + P(t)$$

$$= M(t) + a\frac{S(t)}{S_m}\sin\omega_h t + p\sin\tfrac{1}{2}\omega_h t. \quad . \quad (5)$$

Hierin hebben a, S_m en ω_h dezelfde betekenis als in (1) en is p de amplitude van het pilootsignaal. Maken we a weer gelijk aan S_m, dan luidt de formule voor het multiplexsignaal:

$$F(t) = M(t) + S(t)\sin\omega_h t + p\sin\tfrac{1}{2}\omega_h t\,. \quad . \quad . \quad (6)$$

In *fig. 3* is het frequentiespectrum van een dergelijk multiplexsignaal getekend. Het somsignaal $M(t)$ heeft ongeveer een spectrum van 50 Hz tot 15 kHz, terwijl dat van het stereohulpsignaal $H(t)$ reikt van $38 - 15 = 23$ kHz tot $38 + 15 = 53$ kHz, met bij 38 kHz een smalle vrije zone ter breedte van ongeveer 100 Hz. Het pilootsignaal $P(t)$ ligt in het midden van het vrije gebied tussen $M(t)$ en $H(t)$. Hierdoor is het mogelijk om in de ontvanger het pilootsignaal uit het multiplexsignaal te verkrijgen met een eenvoudig filter, dat veelal slechts behoeft te bestaan uit één enkele op 19 kHz afgestemde trillingskring. Zou men een pilootsignaal hebben toegepast met een frequentie gelijk aan die van de hulpdraaggolf (in feite komt dit neer op het niet geheel onderdrukken van de hulpdraaggolf), dan zou men, zoals uit fig. 3 blijkt, een zeer scherp filter nodig hebben om in de ontvanger dit signaal te scheiden van de andere componenten.

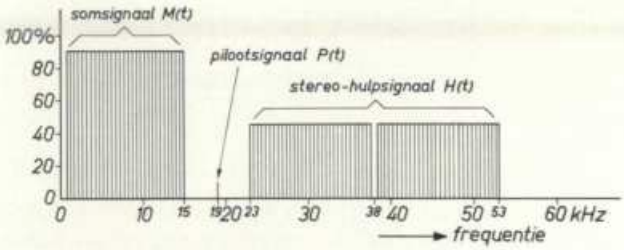


Fig. 3. Spectrum van het multiplexsignaal volgens het F.C.C.-systeem. Aangegeven zijn de frequentiegebieden waarin de verschillende componenten van het signaal liggen en de grootte die zij maximaal mogen hebben (in procenten van de maximale waarde van het multiplexsignaal).

De sterkte van het pilootsignaal is zodanig vastgesteld dat de frequentiezwaai die de draaggolf hierdoor ondervindt, 10% bedraagt van de maximaal toegelaten zwaai. Een belangrijke eigenschap van dit systeem is nu dat men zowel het somsignaal als het stereohulpsignaal een zodanige sterkte kan geven dat de door ieder hiervan veroorzaakte frequentiezwaai ongeveer 90% van de maximaal toegelaten zwaai kan worden. Een luisteraar met een mono-ontvanger heeft dus een frequentiezwaai beschikbaar die slechts 10% kleiner is dan die welke bij een mono-uitzending met dezelfde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bandbreedte wordt toegepast. Het stereohulpsignaal kan men als het ware „gratis" toevoegen zonder vergroting van de nodige frequentiezwaai. Dit misschien enigszins verbazingwekkende feit wordt duidelijk als men bedenkt dat bij gelijkheid van $L(t)$ en $R(t)$ het verschilsignaal $S(t)$, en dus ook het stereohulpsignaal $H(t)$, nul is. Er kan dus dan geen bezwaar tegen zijn om de beschikbare 90% van de frequentiezwaai voor het somsignaal $M(t)$ te benutten. (Men bedenke dat deze redenering niet opgaat bij een systeem met niet-onderdrukte draaggolf omdat men daarbij, ook al geldt $S(t) = 0$, rekening moet houden met de aanwezigheid van de hulpdraaggolf.)

Wordt één der oorspronkelijke signalen, b.v. $R(t)$, kleiner, dan neemt $M(t)$ af en het nu vrijkomende gedeelte van de frequentiezwaai kan worden ingenomen door het stereohulpsignaal $H(t)$. Is $R(t) = 0$, dan is $L(t) = M(t) = S(t)$, en voor het somsignaal en het stereohulpsignaal ieder kan dan 45% van de maximale frequentiezwaai worden benut. Het maximum van de som van deze beide signaalcomponenten komt dan weer met 90% van de zwaai overeen. In *fig. 4a* en *c* is voor de twee bovengenoemde gevallen het verloop van het multiplexsignaal weergegeven, waarbij het pilootsignaal is weggelaten en linker- en rechtersignaal een zuiver sinusoïdaal verloop hebben.

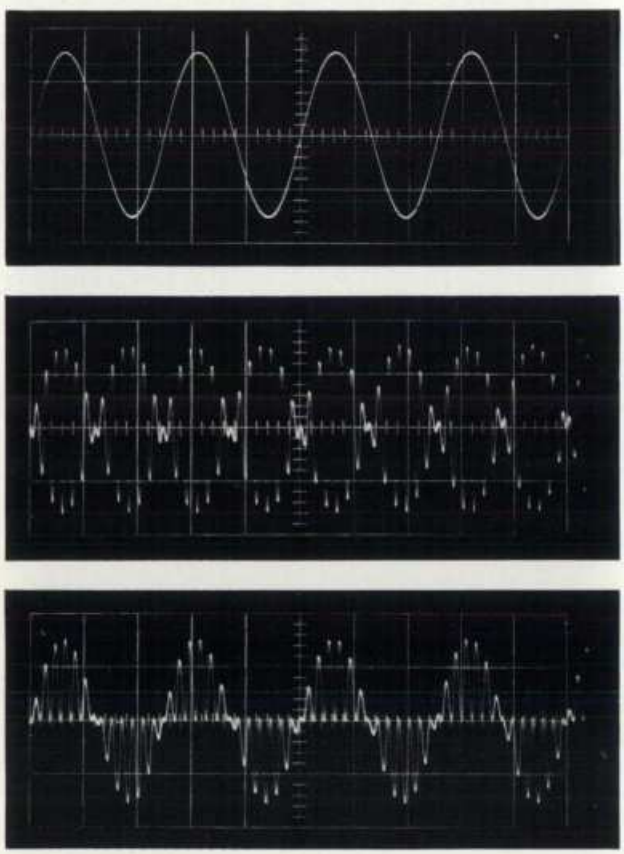


Fig. 4. Multiplexsignaal zonder pilootsignaal volgens het F.C.C.-systeem. De frequentie van het audiofrequente signaal is 3000 Hz.
a) Linker- en rechtersignaal zijn gelijk en in faze.
b) Linker- en rechtersignaal zijn gelijk en in tegenfaze.
c) Het rechtersignaal is nul.

Nemen we nog een ander extreem geval, nl. dat waarbij het rechtersignaal en het linkersignaal even groot en *in tegenfaze* zijn, dus $R(t) = -L(t)$, dan is $M(t)$ nul en kan de beschikbare 90% van de frequentiezwaai volledig worden ingenomen door het stereohulpsignaal (fig. 4*b*). Ieder van de twee zijbanden waaruit dit laatste signaal bestaat, mag dan een waarde bereiken die met 45% van de maximale frequentiezwaai overeenkomt. Bij het tekenen van fig. 3 is met de hierboven besproken maxima rekening gehouden; verticaal zijn hier, behalve de constante waarde van $P(t)$, uitgezet de maximale waarde van $M(t)$ en van de beide zijbanden waaruit $S(t)$ bestaat, uitgedrukt in procenten van de maximale waarde van het multiplexsignaal.

In *fig. 5* is ter verdere oriëntatie het verloop van de verschillende *componenten* weergegeven van een multiplexsignaal, en wel voor het met fig. 1 corresponderende eenvoudige geval dat alleen het linkersignaal aanwezig is: $L(t) = b \sin pt$ (fig. 5*a*). Het somsignaal $M(t)$ en het verschilsignaal $S(t)$ zijn dus weer gelijk aan $L(t)$. Fig. 5*b* toont het verloop van het stereohulpsignaal, waarvan de formule luidt:

$$H(t) = b \sin pt \sin \omega_h t. \quad \ldots\ldots (7)$$

(Men vergelijke dit met formule (4), die geldt bij een niet-onderdrukte draaggolf.) In fig. 5*c* is de som van $M(t)$ en $H(t)$ voorgesteld; deze figuur komt dus met fig. 4*c* overeen. Door het toevoegen van het pilootsignaal $P(t)$ wordt het volledige multiplexsignaal $F(t)$ verkregen (fig. 5*d*). Ten slotte is in fig. 5*e* het frequentiespectrum van $F(t)$ weergegeven.

Volgens (6) luidt de formule voor het multiplexsignaal zonder pilootsignaal:

$$F_0(t) = M(t) + S(t) \sin \omega_h t. \quad \ldots\ldots (8)$$

De „omhullenden" hiervan worden weer gevonden door $\sin \omega_h t$ achtereenvolgens gelijk aan $+1$ en -1 te stellen; de formules hiervoor zijn dus:

$$F_{01}(t) = M(t) + S(t) = 2L(t), \quad \ldots (9a)$$

$$F_{02}(t) = M(t) - S(t) = 2R(t). \quad \ldots (9b)$$

We zien weer dat, als aan de voorwaarde $a = S_m$ is voldaan, de omhullenden een zelfde verloop hebben als de linker- en rechtersignalen. Door het ontbreken van de draaggolf (vergelijk 3a en 3b) nemen echter nu de beide omhullenden zowel positieve als negatieve waarden aan. Directe detectie met behulp van twee diodes is dus hier niet zomaar mogelijk. Toch kan men van de genoemde bijzonderheid van de omhullenden zowel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

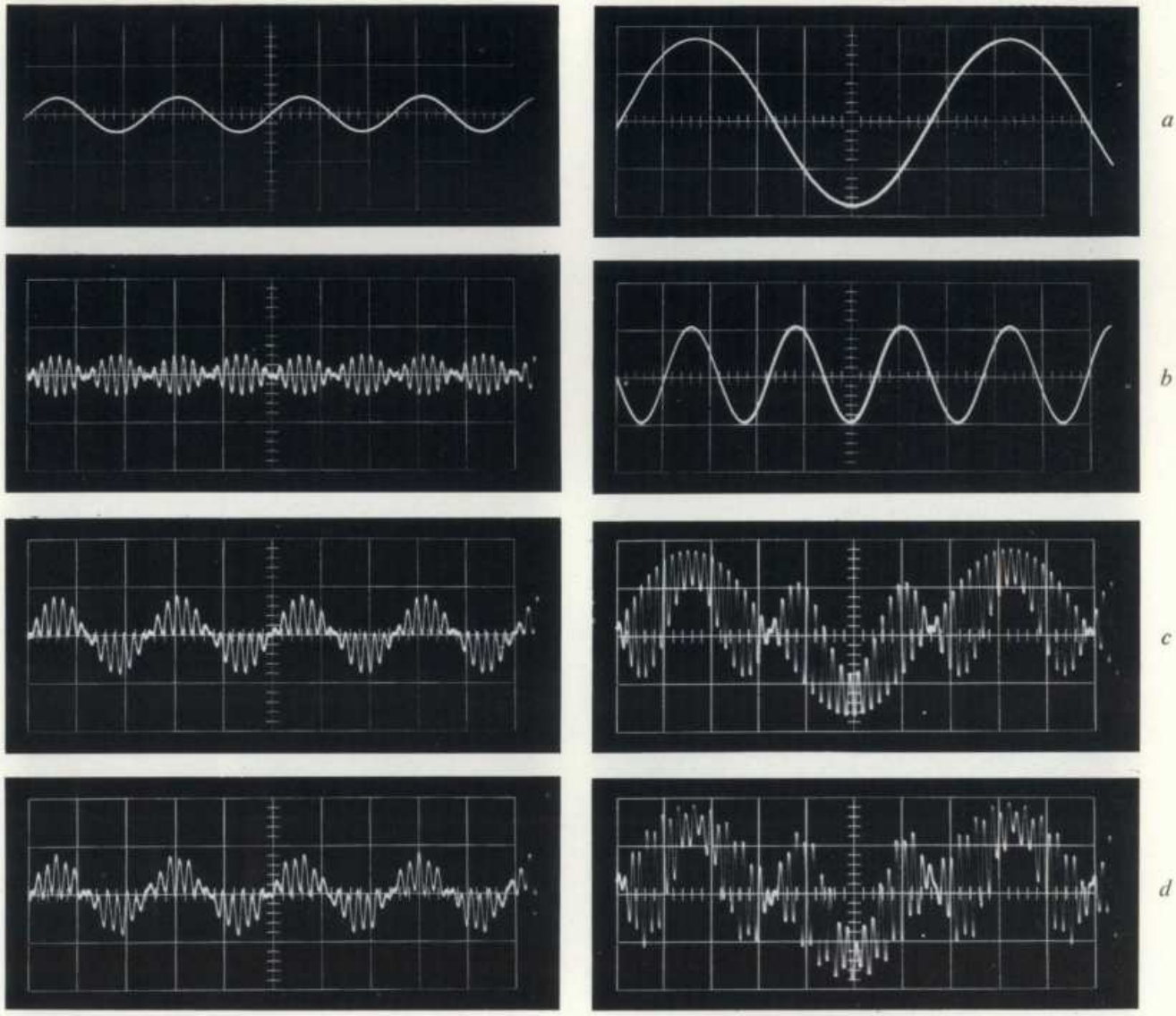


Fig. 6. Multiplexsignaal wanneer linker- en rechtersignaal verschillende frequenties en amplitudes hebben.
a) Linkersignaal (frequentie 1000 Hz).
b) Rechtersignaal (frequentie 3000 Hz).
c) Multiplexsignaal zonder pilootsignaal.
d) Het volledige multiplexsignaal.

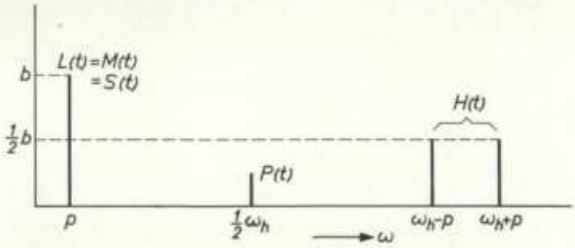


Fig. 5. Samenstelling van een multiplexsignaal volgens het F.C.C.-systeem wanneer alleen het linkersignaal wordt uitgezonden.
a) Linkersignaal, somsignaal en verschilsignaal $L(t) = M(t) = S(t)$.
b) Stereohulpsignaal $H(t)$.
c) Multiplexsignaal zonder pilootsignaal, $M(t) + H(t)$.
d) Het volledige multiplexsignaal $M(t) + H(t) + P(t)$.
e) Spectrum van het multiplexsignaal.

in de zender als in de ontvanger gebruik maken. We komen hierop bij de bespreking van de apparatuur nader terug.

Een bijzonder duidelijk beeld van een volgens het F.C.C.-systeem samengesteld multiplexsignaal verkrijgt men door het geval te beschouwen dat het linker- en rechtersignaal verschillende frequenties hebben. In *fig. 6* zijn voor deze signalen frequenties van 1000, resp. 3000 Hz gekozen. $L(t)$ en $R(t)$ zijn in fig. 6*a* en *b* voorgesteld. Fig. 6*c* toont het multiplexsignaal zonder pilootsignaal. Door het toevoegen van het pilootsignaal verkrijgt men het volledige multiplexsignaal (fig. 6*d*).

Ook van het volledige multiplexsignaal bevatten de beide omhullenden het linker- en het rechtersignaal. Dit feit is hierbij echter minder in het oog springend dan bij een signaal waarin het pilootsignaal ontbreekt. Doordat nl. bij $\sin \omega_h t = 1$ zowel als bij $\sin \omega_h t = -1$ de waarde van $\sin \frac{1}{2}\omega_h t$ afwisselend $+\frac{1}{2}\sqrt{2}$ en $-\frac{1}{2}\sqrt{2}$ is, bereiken de toppen van de kromme om de andere een iets hogere en een iets lagere waarde. (Men vergelijke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

b.v. fig. 5*d* met fig. 5*c*, en fig. 6*d* met fig. 6*c*.) De hoge toppen zowel als de lage verlopen nu, op iets verschillend niveau, weer volgens $L(t)$ en $R(t)$. (Men kan ook zeggen dat de omhullenden van het totale multiplexsignaal, behalve $L(t)$ en $R(t)$, ook het pilootsignaal $P(t)$ bevatten.)

De zender

Bij de inrichting van een zender voor stereofonische uitzendingen volgens het F.C.C.-systeem kan men van twee verschillende principes uitgaan. Bij de *eerste methode* wordt het multiplexsignaal geheel opgebouwd zoals hierboven bij de theoretische beschouwingen werd uiteengezet. Een blokschema van een dergelijke zender geeft *fig. 7*.

De door de beide microfoons *Mi* geleverde signalen worden ieder via een versterker *A* toegevoerd aan een schakeling *Ma* (vaak aangeduid als „*matrix*"), die uit $L(t)$ en $R(t)$ het somsignaal $M(t)$ en het verschilsignaal $S(t)$ vormt. Het laatstgenoemde signaal wordt, te zamen met de hulpdraaggolf $C(t)$, geleid naar de amplitudemodulator *AM*. De hulpdraaggolf wordt met behulp van de frequentieverdubbelaar *FD* verkregen uit het signaal van de op 19 kHz werkende oscillator *Osc*. De modulator *AM* is een balansmodulator, waarvan het uitgangssignaal wel de zijbanden, maar niet de draaggolf bevat. In ons geval is dit uitgangssignaal het stereohulpsignaal $H(t)$. Dit wordt in de juiste verhouding samengevoegd met het somsignaal $M(t)$ en het aan de oscillator *Osc* ontleende pilootsignaal $P(t)$, waardoor het volledige multiplexsignaal $F(t)$ ontstaat, dat via een laagdoorlatend filter *Fi* de modulator van de FM-zender *Z* bereikt. Het filter *Fi* onderdrukt signalen met frequenties hoger dan 53 kHz; dit is nodig omdat het door de modulatortrap *AM* geleverde signaal hogere harmonischen van de hulpdraaggolf bevat, die uiteraard in het multiplexsignaal niet gewenst zijn.

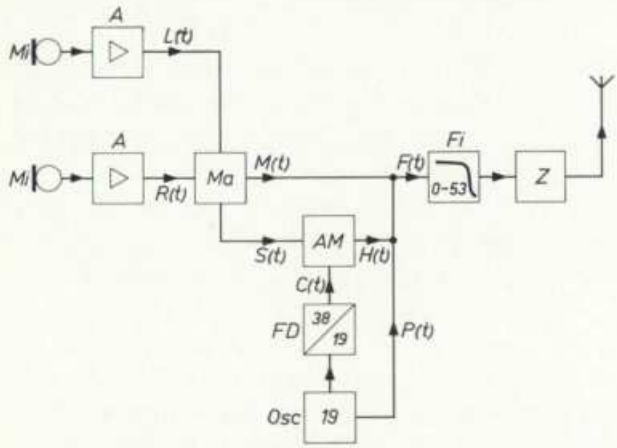


Fig. 7. Blokschema van een zender voor stereofonische uitzending volgens het F.C.C.-systeem. *Mi* microfoons. *A* versterkers. *Ma* „matrix". *Osc* oscillator (19 kHz). *FD* frequentieverdubbelaar. *AM* amplitudemodulator. *Z* zender. *Fi* laagdoorlatend filter.

Evenals bij normale omroep met frequentiemodulatie geeft men bij stereofonische uitzendingen de audiofrequente signalen een bepaalde pre-emphasis (relatief grotere versterking van de signaalcomponenten met hogere frequenties). Men kan dit toepassen op de linker- en rechtersignalen $L(t)$ en $R(t)$, of wel op de som- en verschilsignalen $M(t)$ en $S(t)$. Hiertoe bestemde *R-C*-netwerken worden dan in de desbetreffende verbindingen opgenomen.

De matrix, die in fig. 7 met *Ma* is aangeduid, kan op verschillende manieren zijn samengesteld. In *fig. 8*

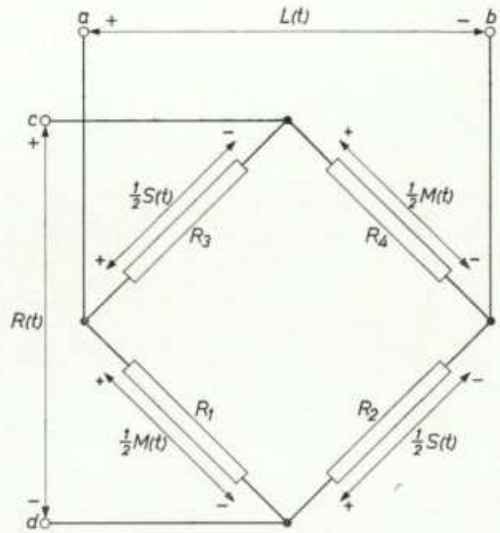


Fig. 8. Schakeling van een matrix.

is als voorbeeld een eenvoudige schakelin g weergegeven, die uit vier gelijke weerstanden, R_1 t/m R_4, bestaat. Het is gemakkelijk in te zien dat bij aansluiting van het linkersignaal $L(t)$ en het rechtersignaal $R(t)$ resp. tussen de klemmenparen *a-b* en *c-d*, op de weerstanden R_1 en R_4 een spanning $\frac{1}{2}M(t)$ en op de weerstanden R_2 en R_3 een spanning $\frac{1}{2}S(t)$ ontstaat.

Bij een zender die volgens de *tweede methode* werkt, maakt men gebruik van het feit dat, als aan de voorwaarde $a = S_m$ (zie (5) en (6)) is voldaan, de beide omhullenden van het multiplexsignaal zonder pilootsignaal als functie van de tijd verlopen volgens de functies $L(t)$ en $R(t)$. Men kan te werk gaan volgens het in *fig. 9* in een blokschema weergegeven principe. Ook hier passeren de signalen van de microfoons *Mi* weer ieder een versterker *A*. Met *Sw* is een snelle elektronische schakelaar aangegeven (eenvoudigheidshalve door een mechanisch wisselcontact voorgesteld), die het punt *r* met een frequentie van 38 kHz afwisselend met de punten *p* en *q* verbindt, waarop de signalen $L(t)$ en $R(t)$ staan. Op het punt *r* ontstaat nu een blokspanning met een frequentie van 38 kHz, waarvan de omhullenden het verloop van $L(t)$ en $R(t)$ volgen. Zoals uit het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

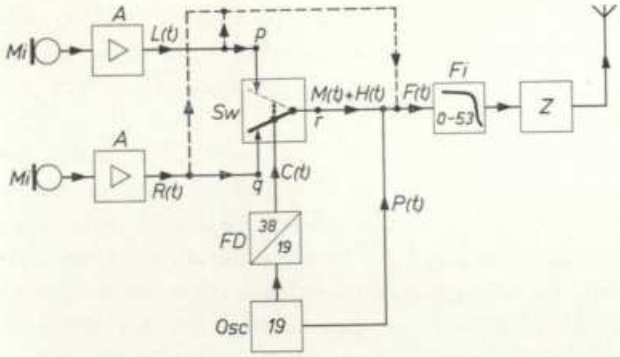


Fig. 9. Blokschema van een zender voor stereofonische uitzending volgens het F.C.C.-systeem. Hierbij wordt niet, zoals in fig. 7, gebruik gemaakt van een matrix en een amplitudemodulator, doch van een elektronische schakelaar, die hier als een mechanische omschakelaar *Sw* is aangegeven.

voorgaande duidelijk zal zijn, bevat dit signaal zowel $M(t)$ als $H(t)$. Door het toevoegen van het pilootsignaal $P(t)$ ontstaat het multiplexsignaal $F(t)$, dat via het laagdoorlatende filter *Fi* de zender *Z* bereikt. Het pilootsignaal wordt opgewekt in de oscillator *Osc*, waaruit tevens, via de frequentieverdubbelaar *FD*, de hulpdraaggolf $C(t)$ wordt verkregen, die de omschakelaar *Sw* aandrijft.

De blokspanning die op het punt *r* ontstaat, bevat harmonischen van de hulpdraaggolf, die in het multiplexsignaal niet mogen voorkomen. Deze harmonischen worden door het filter *Fi* niet doorgelaten. Een gevolg hiervan is echter dat de omhullenden van de uitgangsspanning van *Fi* niet meer exact volgens $L(t)$ en $R(t)$ verlopen. Een nadere beschouwing van deze afwijking toont aan dat het juiste verloop van de omhullenden kan worden hersteld door aan het signaal achter *Sw* een zwak somsignaal toe te voegen. In fig. 9 is deze toevoeging schematisch met stippellijnen aangegeven.

De omschakeling met een frequentie van 38 kHz kan op verschillende manieren door een elektronisch circuit geschieden. Ter illustratie is in *fig. 10* een dergelijke schakeling aangegeven. De transistors Tr_1 en Tr_2 doen

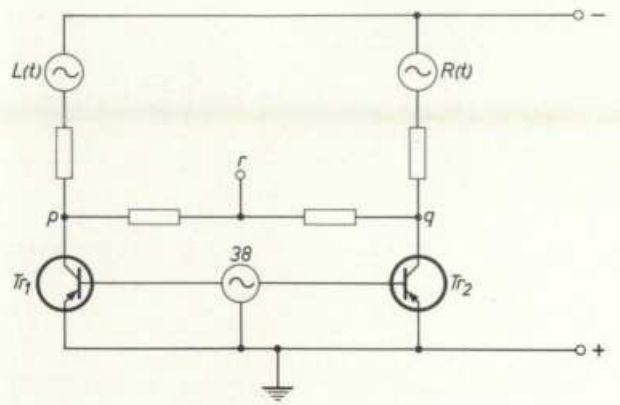


Fig. 10. Schema voor een elektronische schakelaar, die voor de in fig. 9 met *Sw* aangegeven omschakelaar kan worden gebruikt.

hier dienst als schakelaars die beurtelings worden geopend en gesloten door een spanning met een frequentie van 38 kHz, die in tegenfaze aan de bases wordt gelegd. Hierdoor worden de punten *p* en *q* afwisselend op aardpotentiaal gebracht, waardoor op *r* de gewenste blokspanning ontstaat met omhullenden die het verloop van $L(t)$ en $R(t)$ volgen.

De ontvanger

Van een ontvanger voor stereofonische programma's zijn de hoogfrequent- en middenfrequentgedeelten gelijk aan die van een normale FM-ontvanger. In de detector is enig verschil. Omdat nl. het multiplexsignaal een frequentiegebied tot 53 kHz beslaat, moet de frequentiekarakteristiek van de frequentiedetector (uitgangsspanning als functie van de modulatiefrequentie bij constante frequentiezwaai) tot de genoemde frequentie vlak zijn. Bij een normale ontvanger behoeft dit slechts het geval te zijn tot 15 kHz. Aan de genoemde eis is op conventionele wijze te voldoen, en we zullen hierop dan ook niet nader ingaan.

Het uitgangssignaal van de frequentiedetector is weer het multiplexsignaal. Om hieruit de linker- en rechtersignalen te verkrijgen, past men schakelingen toe die men met de benamingen „*adaptor*" of „*decoder*" aanduidt. Versterking tot luidsprekerniveau moet dan geschieden in twee versterkers, die al of niet in de ontvanger kunnen zijn ingebouwd.

Voor een goede stereoweergave moet een adaptor aan enkele eisen voldoen. De belangrijkste hiervan zijn de volgende.

1) Zoals bij alle ontvangers en versterkers mag slechts een geringe vervorming optreden. Dit geldt hier uiteraard voor het linker- en het rechtersignaal.
2) Er mag slechts een gering overspreken optreden, waarmee wij hier bedoelen dat het linker- en rechtersignaal voldoende gescheiden blijven.
3) De gevoeligheid voor alle vormen van storingen dient zo klein mogelijk te zijn.

Hiernaast kan men nog een aantal wensen formuleren waarvan de vervulling weliswaar voor het verkrijgen van een bevredigend resultaat niet noodzakelijk is maar het gebruik van de apparatuur aanmerkelijk kan vergemakkelijken. Enkele van deze wensen zijn de volgende.

4) Visuele indicatie van het feit dat de ontvangen zender een stereosignaal uitzendt.
5) Automatische overschakeling op stereo- of monoweergave al naar gelang de ontvangen zender deze signalen uitzendt.
6) Ongeveer gelijke sterkte van het uitgangssignaal bij mono- en stereo-ontvangst.

Bij het ontwerpen van een schakeling voor een adaptor kan men van verschillende beginselen uitgaan. Ge-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zien de samenstelling van het multiplexsignaal ligt het wel het meest voor de hand om dit signaal met behulp van filters te ontleden in het somsignaal $M(t)$, het stereohulpsignaal $H(t)$ en het pilootsignaal $P(t)$. Vervolgens wordt dan de hulpdraaggolf opgewekt met behulp van het pilootsignaal, waarna stereohulpsignaal en hulpdraaggolf worden opgeteld en aan een detector worden toegevoerd. Hierin ontstaat dan het verschilsignaal $S(t)$. Ten slotte verkrijgt men uit $M(t)$ en $S(t)$ door optellen en aftrekken de linker- en rechtersignalen.

Een blokschema van een volgens dit principe werkende adaptor is in *fig. 11* weergegeven. Het multiplexsignaal $F(t)$ wordt in de filters Fi_1, Fi_2 en Fi_3 gescheiden in resp. het pilootsignaal $P(t)$, het stereohulpsignaal $H(t)$ en het somsignaal $M(t)$. Het pilootsignaal wordt toegevoerd aan de frequentieverdubbelaar FD, waardoor de hulpdraaggolf $C(t)$ wordt verkregen, die, te zamen

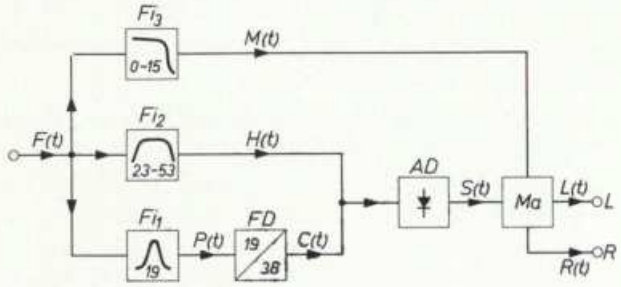


Fig. 11. Blokschema van een adaptor voor het afleiden van linker- en rechtersignaal uit het multiplexsignaal. Fi_1 filter voor het pilootsignaal. Fi_2 filter voor het stereohulpsignaal. Fi_3 laagdoorlatend filter voor het somsignaal. FD frequentieverdubbelaar. AD diodedetector. Ma matrix. L en R klemmen voor het linker- en het rechtersignaal.

met het stereohulpsignaal, naar de amplitude-detector AD wordt geleid. Hieruit ontstaat het verschilsignaal $S(t)$. Voor het optellen en aftrekken van $M(t)$ en $S(t)$ kan weer een matrix Ma worden gebruikt, gelijk aan die welke bij de zender werd besproken (fig. 8).

Bij een andersoortige adaptor maakt men gebruik van het feit dat, mits aan de conditie $a = S_m$ (zie (5) en (6)) is voldaan, de omhullenden volgens $L(t)$ en $R(t)$ verlopen. Wij wezen er in het voorgaande reeds op, dat door het ontbreken van de hulpdraaggolf directe detectie met behulp van twee diodes niet mogelijk is. Om dit wèl mogelijk te maken, moet de hulpdraaggolf met behulp van het pilootsignaal weer worden opgewekt en bij het multiplexsignaal worden gevoegd. (Dit laatste kan al of niet zijn ontdaan van het pilootsignaal.) Een blokschema van een volgens dit systeem werkende adaptor is weergegeven in *fig. 12*. Dat het onderdrukken van het pilootsignaal mogelijk doch niet noodzakelijk is, is aangegeven door het filter Fi_2 te stippelen [7]. Het pilootsignaal, waarvan de frequentie slechts weinig hoger is dan de hoogste audiofrequenties, kan bij de detectie enige vervorming in de hoge tonen doen ontstaan; aan de complicatie van het aanbrengen van een filter dat $P(t)$ onderdrukt, is dus ook een voordeel verbonden.

Behalve met twee diodes die de omhullenden detecteren, kan men uit $C(t)$ en $M(t) + H(t)$ ook op een andere wijze de linker- en rechtersignalen verkrijgen. Men voegt dan de hulpdraaggolf $C(t)$ niet bij de andere componenten van het signaal, doch gebruikt deze om een periodieke omschakeling van $M(t) + H(t)$ tot stand te brengen met een frequentie van 38 kHz. In *fig. 13* is dit weer eenvoudigheidshalve door een omschakelaar Sw voorgesteld. Na de voorgaande beschouwingen zal het duidelijk zijn dat ook op deze wijze aan de klemmen p en q het linker- en rechtersignaal ontstaan. Men verkrijgt dus ook door middel van een dergelijke periodieke omschakeling detectie. Deze wijze van detecteren van een signaal wordt vaak als „schakeldetectie" aangeduid.

Een nadere bestudering van deze wijze van detecteren toont aan dat de verkregen uitgangsspanningen niet exact volgens de omhullenden verlopen. De afwijking kan worden gecompenseerd door van de beide door de schakeldetector geleverde signalen een zwak signaal $M(t)$ af te trekken, d.w.z. in tegenfaze toe te voeren. In fig. 13 is dit met stippellijnen aangegeven. (In werkelijkheid wordt $M(t) + H(t)$ afgetrokken, doch het stereohulpsignaal $H(t)$ veroorzaakt hierbij geen hinder; het frequentiegebied hiervan ligt immers buiten dat van de hoorbare geluidsfrequenties.) Een en ander komt overeen met de correctie die bij een zender volgens fig. 9 moet worden toegepast.

Het bij de schakeldetector aan het punt r toe te voeren multiplexsignaal, kan desgewenst weer vooraf worden ontdaan van het pilootsignaal.

Het principe van schakeldetectie kan men ook op andere wijze in toepassing brengen. Terwijl in fig. 13 het gehele signaal (met of zonder pilootsignaal) aan de

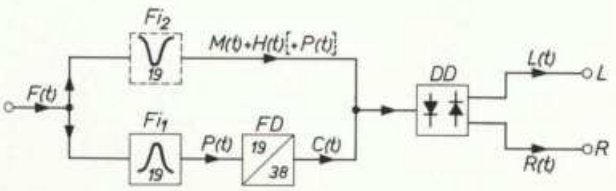


Fig. 12. Blokschema van een adaptor, werkende volgens het systeem van „omhullendendetectie". Fi_1 filter dat het pilootsignaal doorlaat. Fi_2 filter dat het pilootsignaal onderdrukt. DD dubbele diodedetector.

[7] Een gehele of gedeeltelijke onderdrukking van het pilootsignaal in de rest van het signaal ontstaat in sommige schakelingen automatisch door de aanwezigheid van het filter Fi_1, dat het pilootsignaal doorlaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

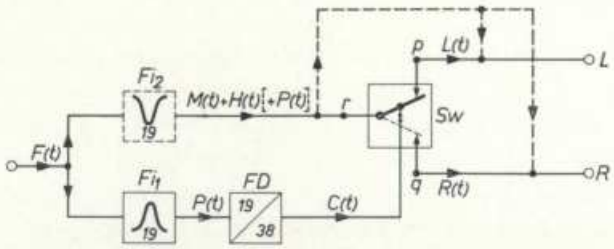


Fig. 13. Blokschema van een adaptor, waarbij schakeldetectie wordt toegepast. Fi_1 filter dat het pilootsignaal doorlaat. Fi_2 filter dat het pilootsignaal onderdrukt. *Sw* elektronische schakelaar (schakeldetector).

schakeldetector wordt toegevoerd, kan men ook uitsluitend het stereohulpsignaal aan een omschakelproces onderwerpen. Daar $H(t)$ gelijk is aan $S(t) \sin \omega_h t$, verlopen de omhullenden hiervan volgens de twee functies $S(t)$ en $-S(t)$ (zie b.v. fig. 4*b*), en door een met 38 kHz verlopend schakelproces kan men dus aan de uitgangsklemmen het verschilsignaal met tegengestelde polariteit verkrijgen. Een desbetreffend blokschema toont *fig. 14*. Men splitst hier (evenals in fig. 11) het multiplexsignaal $F(t)$ in de componenten $P(t)$, $H(t)$

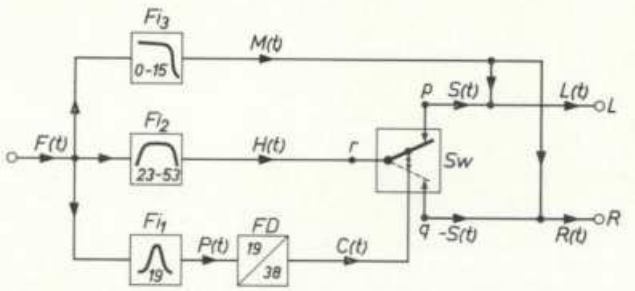


Fig. 14. Blokschema van een adaptor waarbij uitsluitend op het stereohulpsignaal schakeldetectie wordt toegepast. Fi_1 filter voor het pilootsignaal. Fi_2 filter voor het stereohulpsignaal. Fi_3 filter voor het somsignaal. *Sw* elektronische schakelaar (schakeldetector).

en $M(t)$. Uit het pilootsignaal $P(t)$ wordt door de frequentieverdubbelaar *FD* de hulpdraaggolf $C(t)$ gevormd, die de frequentie bepaalt waarmee de „schakelaar" *Sw* afwisselend de punten *p* en *q* met *r* verbindt. Men verkrijgt nu zowel op *p* als op *q* het verschilsignaal, en wel met tegengestelde polariteit. Door hierbij het somsignaal $M(t)$ te voegen, krijgt men de linker- en rechtersignalen $L(t)$ en $R(t)$.

Fig. 13 en fig. 14 vertonen veel overeenkomst met resp. fig. 12 en fig. 11. Het enige verschil is gelegen in de wijze van detecteren (schakeldetector tegenover omhullendendetector). Zonder hier nader op in te gaan, willen wij vermelden dat een voordeel van een schakeldetector ten opzichte van een diodedetector is gelegen in een kleinere gevoeligheid voor bepaalde vormen van storing.

De-emphasis

Omdat bij frequentiemodulatie in de zender altijd pre-emphasis wordt toegepast, moeten in de ontvanger de audiosignalen een bepaalde „de-emphasis" ondergaan. Men kan hiertoe zowel het linker- als het rechtersignaal via een *R-C*-schakeling naar de uitgangsklemmen *L* en *R* van de adaptor leiden. Bij de schakelingen van fig. 12 en fig. 13 is dit de enige mogelijkheid. Bij schakelingen waarin de som- en verschilsignalen worden opgewekt (fig. 11 en fig. 14), kan men echter ook deze laatste signalen aan de-emphasis onderwerpen. Men moet dan een *R-C*-combinatie in de met $M(t)$ en $S(t)$ aangeduide leidingen opnemen. Men dient er in dit geval rekening mede te houden dat zowel in het somsignaal als in het verschilsignaal de componenten met hogere frequenties reeds een verzwakking ondergaan door de filters waarmee het somsignaal en het stereohulpsignaal uit het multiplexsignaal worden verkregen (in fig. 11 zowel als in fig. 14 resp. Fi_3 en Fi_2). Uit deze omstandigheid kan echter ook voordeel worden getrokken; men kan nl. de de-emphasis *geheel* in deze filters doen plaatsvinden. Voor Fi_3 gebruikt men dan een *R-C*-combinatie met de voor de-emphasis vastgestelde tijdconstante (50 μs), en voor Fi_2 een op 38 kHz afgestemde *L-C*-kring met een zodanige waarde van de kwaliteitsfactor dat de flanken van de resonantiekromme een zelfde verloop hebben als de kromme die de voor de-emphasis gewenste verzwakking van de signaalcomponenten met hogere audiofrequenties weergeeft.

Een belangrijk voordeel van het scheiden van $M(t)$ en $H(t)$, dus het aanbrengen van het filter Fi_2, is het volgende. Men voorkomt hiermede dat eventuele storende signalen met frequenties die ongeveer gelijk zijn aan die van harmonischen van de hulpdraaggolf, de amplitude-detector *AD* (fig. 11) of de schakeldetecor *Sw* (fig. 14) bereiken. (Dergelijke spanningscomponenten kunnen aanwezig zijn in ruis of andere storingen; ook kunnen zij ontstaan door kromming van de karakteristiek van de frequentiedetector in het ontvangtoestel.) In deze detectoren zouden nl. signalen met frequenties rond 76 kHz, 114 kHz, enz. spanningen in het gebied der audiofrequenties veroorzaken. Om dit te voorkomen, zou men vóór de adaptor een filter kunnen aanbrengen dat slechts signalen in het gewenste frequentiegebied (0-53 kHz) doorlaat. Een dergelijk filter, dat in dit gebied geen amplitude- of fazedistorsie zou mogen geven en signalen buiten dit gebied sterk zou moeten verzwakken, zou vrij gecompliceerd worden. Veel eenvoudiger is het om deze verzwakkende functie te laten waarnemen door het filter Fi_2, dat hiervoor vrij selectief dient te zijn, maar waarbij hiervan voor de-emphasis juist een nuttig gebruik wordt gemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Nadere bespreking van een adaptor

Tot besluit van dit artikel is in *fig. 15* het volledige schema weergegeven van een met halfgeleider-elementen geconstrueerde adaptor. We geven hierbij een korte toelichting, Het principe dat aan de schakeling ten grondslag ligt, is dat van fig. 14. Het multiplexsignaal wordt aangesloten op de klem K_m. De in fig. 14 met Fi_1 en Fi_2 aangeduide filters worden gevormd door de zodanige negatieve spanningen gelegd dat in Tr_3 bij afwezigheid van het pilootsignaal geen collectorstroom vloeit en dat Tr_2 slechts een geringe versterking geeft. Afwezigheid van het pilootsignaal betekent dat met de ontvanger een *niet-stereofonische* uitzending wordt ontvangen. Het voor stereofonie bestemde gedeelte van de adaptor is dan dus niet werkzaam. Het audiofrequente signaal wordt hierbij van de emitter van Tr_1 via R_1, R_8

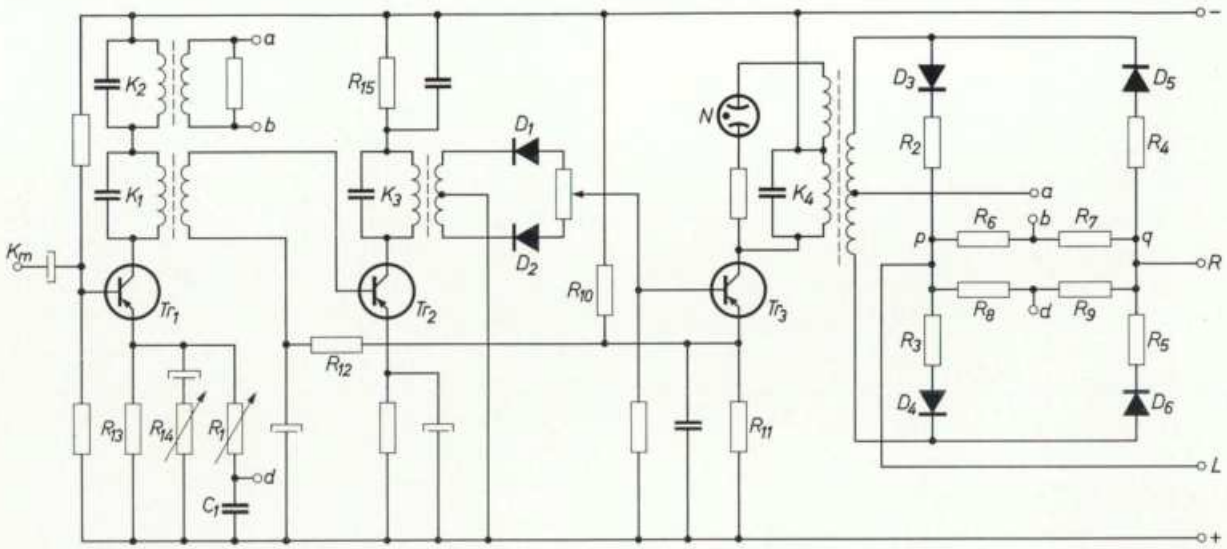


Fig. 15. Schema van een adaptor volgens het principe van fig. 14. K_m ingangsklem. K_1 en K_3 kringen, afgestemd op 19 kHz. K_2 en K_4 kringen, afgestemd op 38 kHz. N neonlamp.

Het pilootsignaal wordt van K_1 via een inductieve koppeling toegevoerd aan de transistor Tr_2, waarin dit signaal wordt versterkt. De eveneens op 19 kHz afgestemde L-C-kring K_3 is inductief gekoppeld met een dubbelfazige gelijkrichter (diodes D_1 en D_2). Hierin wordt (behalve de in de tekst besproken gelijkspanning) een signaal met een frequentie van 38 kHz verkregen, dat, versterkt door de transistor Tr_3, aan de op deze frequentie afgestemde kring K_4 wordt toegevoerd. Via een inductieve koppeling bereikt de op deze wijze opgewekte hulpdraaggolf het gedeelte van de schakeling dat een periodieke omschakeling van het stereohulpsignaal tot stand brengt en dat uit de diodes D_3 t/m D_6 en een aantal weerstanden bestaat. De diodeparen D_3-D_4 en D_5-D_6 zijn met tegengestelde polariteit geschakeld; hierdoor wordt, met de frequentie van de hulpdraaggolf, periodiek het circuit over R_2+R_3 en over R_4+R_5 gesloten. Tussen de punten a en b is het uit de kring K_2 verkregen stereohulpsignaal aangesloten, en door de bovenvermelde periodieke omschakeling veroorzaakt dit signaal afwisselend een stroom door R_6 en door R_7. Zodoende verkrijgt men tussen de punten p en b, resp. q en b spanningen die verlopen als de omhullenden van het stereohulpsignaal, en die dus zijn voor te stellen door $S(t)$ en $-S(t)$. Tussen p en q zijn ook twee gelijke weerstanden, R_8 en R_9, aangesloten. De spanningen $S(t)$ en $-S(t)$ staan hierdoor ook tussen p en d, resp. q en d. De som van $M(t)$ en $S(t)$, resp. $M(t)$ en $-S(t)$ wordt verkregen doordat tussen het punt d en aarde het somsignaal $M(t)$ wordt aangesloten dat via het filter (en de-emphasisnetwerk) R_1-C_1 van de emitterspanning van de transistor Tr_1 wordt verkregen. Tussen p en aarde, resp. q en aarde staan dus de beide signaalspanningen $M(t) + S(t) = 2L(t)$, resp. $M(t) - S(t) = 2R(t)$. De punten p en q kunnen dus worden verbonden met de uitgangsklemmen L en R van de adaptor.

L-C-kringen K_1 en K_2, die in de collectorleiding van de transistor Tr_1 zijn geschakeld. Deze kringen zijn dus resp. op 19 en 38 kHz afgestemd. Het somsignaal wordt ontleend aan het emittercircuit; het laagdoorlatende filter Fi_3 uit fig. 14 wordt hier gevormd door de weerstand R_1 en de condensator C_1. De frequentieverdubbelaar FD bestaat uit de diodes D_1 en D_2, en de schakeldetector Sw uit de diodes D_3 t/m D_6 en een aantal weerstanden.

Door middel van de spanningsdeler R_{10}-R_{11} worden aan de emitter van Tr_3 en, via R_{12}, aan de basis van Tr_2 en R_9 in faze naar de beide uitgangsklemmen geleid. Wordt een *stereofonische* uitzending ontvangen, dan ontstaat door het pilootsignaal in de dubbelfazige gelijkrichter D_1-D_2 een negatieve gelijkspanning, die aanvankelijk klein is, doch voldoende om in Tr_3 collector- en emitterstroom te doen vloeien. De vergroting van de gelijkspanning op R_{11} die hierdoor ontstaat, doet de versterking van Tr_2 toenemen, waardoor ook de negatieve spanning op de basis van Tr_3 groter wordt. Dit cumulatieve effect zet zich voort totdat de versterking van Tr_2 en Tr_3 onder de gegeven omstandigheden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

maximaal is. (De weerstand R_{15} in de collectorketen van Tr_2 is zo groot dat deze transistor dan als begrenzer werkt.) De adaptor is nu ingesteld op stereo-ontvangst.

Blijft het pilootsignaal beneden een bepaalde kleine waarde, dan is Tr_3 dicht en is de ontvanger ingesteld op mono-ontvangst. Er is zodoende een drempel gelegd voor het inwerkingtreden van de stereo-apparatuur. De adaptor gaat hierdoor niet op stereo-ontvangst over ten gevolge van ruis of storingen met een frequentie van ongeveer 19 kHz. (Zou dit wèl gebeuren, dan zou een verhoging van het ruisniveau van een ontvangen mono-signaal kunnen ontstaan.)

Als Tr_2 en Tr_3 eenmaal open zijn, moet het pilootsignaal weer ver onder de drempelwaarde vallen om de toestand voor mono-ontvangst weer te doen intreden. Dit blijkt duidelijk uit *fig. 16*, waar de sterkte van de op K_4 aanwezige hulpdraaggolf V_c is uitgezet als functie van het pilootsignaal V_p aan de ingang van de adaptor. De drempelwaarde is hier 100 mV; het ingangssignaal moet echter tot 50 mV dalen om de adaptor van stereo- op mono-ontvangst te doen overgaan. De bedoeling van deze hysteresis is, te voorkomen dat bij de ontvangst van een zwak stereosignaal de adaptor door kleine wijzigingen van de signaalsterkte op willekeurige momenten omschakelt van stereo- op mono-ontvangst, en omgekeerd.

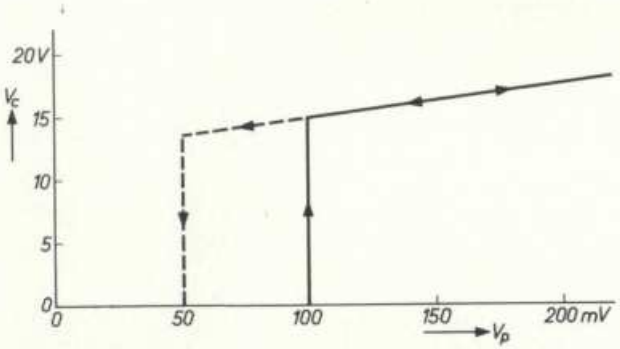


Fig. 16. De sterkte van de op K_4 aanwezige hulpdraaggolf V_c als functie van de sterkte van het pilootsignaal V_p aan de ingangsklem van de adaptor. Getrokken lijn, bij aangroeiende signaalsterkte; streeplijn, bij dalende signaalsterkte.

De spoel van de kring K_4 is voorzien van een aantal extra windingen, waardoor bij aanwezigheid van de hulpdraaggolf het neonlampje N wordt ontstoken. Hierdoor verkrijgt men de gewenste visuele indicatie van het feit dat een stereofonische uitzending wordt ontvangen.

Zoals in het voorgaande reeds werd uiteengezet, kan bij deze schakeling de-emphasis worden verkregen door geschikte dimensionering van de kring K_2 en het laagdoorlatende filter R_1-C_1. Hiertoe moet de resonantiekromme van K_2 een zodanige vorm hebben dat het niet is te vermijden dat tussen de punten a en b, behalve het stereohulpsignaal, ook nog een zwak somsignaal aanwezig is. Dit signaal zou, indien het de beide uitgangsklemmen van de adaptor zou bereiken, voor de hoge audiofrequenties overspreken veroorzaken, waardoor een verstoring van het stereofonische geluidsbeeld zou ontstaan. Het storende effect zou nog worden versterkt door het feit dat het bedoelde signaal geen de-emphasis ondergaat. In de in fig. 15 weergegeven schakeling kan echter het via K_2 in de schakeldetector doordringende somsignaal geen bijdrage tot de uitgangsspanningen van de adaptor leveren. Dit signaal staat nl. wèl tussen de punten p resp. q en b, doch is op p en q ten opzichte van b even groot en *in faze*. Hierdoor veroorzaakt het geen stromen in R_8 en R_9 en dus ook geen spanningen tussen p resp. q en d, waardoor geen bijdrage tot het signaal tussen de uitgangsklemmen en aarde kan ontstaan.

Dit laatste zou wèl het geval zijn geweest als men de weerstanden R_8 en R_9 had weggelaten en het de-emphasisfilter R_1-C_1 met het punt b had verbonden. Schakeltechnisch zou dit uiteraard eenvoudiger zijn, doch door de hierboven beschreven oorzaak zou het effect van de stereofonische weergave dan kunnen worden verstoord.

Ook bij ontvangst van een mono-uitzending ontstaat tussen a en b een storend signaal, dat voornamelijk de componenten met hogere audiofrequenties, zonder de-emphasis, bevat. Doordat ook in dit geval de spanningen van p en q ten opzichte van b in faze zijn, kan ook dan deze storing geen bijdrage leveren tot de uitgangsspanningen van de adaptor.

Zoals uit het schema blijkt, is in de emitterleiding van Tr_1, behalve de voor de gelijkstroominstelling nodige weerstand R_{13}, ook de variabele weerstand R_{14} (in serie met een condensator met zeer grote capaciteit) opgenomen. Met deze weerstand wordt de versterking van Tr_1 gevarieerd; hiermee kan men de sterkte van het aan de schakeldetector toegevoerde stereohulpsignaal wijzigen en op een zodanige waarde instellen dat in het door de schakeldetector geleverde verschilsignaal de linker- en rechtersignalen even groot zijn als in het aan het punt d toegevoerde somsignaal. Immers, alleen in dit geval zijn door optellen en aftrekken van $M(t)$ en $S(t)$ de linker- en rechtersignalen te verkrijgen. In feite is dan voldaan aan de in de inleiding genoemde voorwaarde $a = S_m$; is hieraan niet voldaan, dan treedt overspreken op. Dit laatste kan (speciaal bij hogere frequenties) ook optreden wanneer het somsignaal en het verschilsignaal niet dezelfde de-emphasis ondergaan. (Immers, ook dan is de juiste verhouding van somsignaal en verschilsignaal niet aanwezig.) Om deze reden is ook de weerstand R_1 variabel gemaakt. Bij het instellen van de adaptor geeft men dus

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

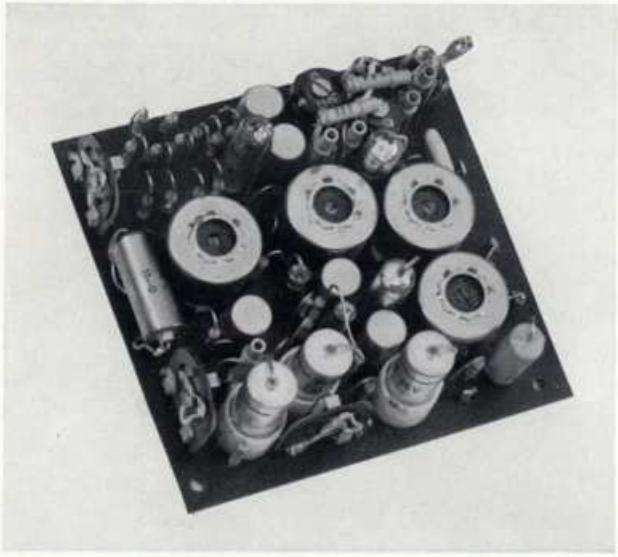


Fig. 17. Een adaptor volgens het schema van fig. 16, uitgevoerd met gedrukte bedrading.

aan deze weerstand een zodanige waarde dat bij hogere frequenties het overspreken minimaal is. Bij de instelling van R_{14} daarentegen let men speciaal op de lagere frequenties, waar de de-emphasis geen rol speelt.

Een adaptor volgens het schema van fig. 15 kan met zeer beperkte afmetingen worden uitgevoerd. *Fig. 17* toont een voorbeeld dat is geconstrueerd met gedrukte bedrading. De afmetingen van het montageplaatje bedragen 8×8,5 cm.

Samenvatting. Stereofonische radio-omroep dient „compatibel" te zijn, d.w.z. hij moet worden gebaseerd op een systeem waarbij ook een bevredigend resultaat kan worden verkregen met ontvangers die *niet* voor stereofonie zijn ingericht. Om deze reden worden niet de signalen van linker- en rechtermicrofoon afzonderlijk overgebracht, doch vormt men twee signalen uit de som en het verschil van de beide microfoonsignalen. Bij een reeds in verscheidene landen (o.a. in de U.S.A.) gebruikt systeem (het F.C.C.-systeem) wordt het verschilsignaal gemoduleerd op een hulpdraaggolf (frequentie 38 kHz). Deze hulpdraaggolf wordt in amplitude gemoduleerd en alleen de zijbanden worden, te zamen met het somsignaal, gebruikt voor frequentiemodulatie van de hoofddraaggolf. In de ontvanger dient dan de hulpdraaggolf weer te worden opgewekt. Als hulpmiddel hiervoor wordt een pilootsignaal uitgezonden met een frequentie van 19 kHz. Bij dit systeem ontvangen luisteraars die niet over stereo-apparatuur beschikken het somsignaal, waarvoor de maximale frequentiezwaai 90 % is van die welke bij een niet-stereofonische uitzending met dezelfde bandbreedte wordt toegelaten. Het aan de zender toe te voeren signaal (het multiplexsignaal) kan op twee verschillende manieren worden verkregen. Men kan een balansmodulator gebruiken voor het moduleren van de hulpdraaggolf, of men kan met een frequentie van 38 kHz een omschakelproces tussen het linker- en rechtersignaal doen plaatsvinden. Ook in de ontvanger kan men op verschillende manieren de linker- en rechtersignalen uit het ontvangen multiplexsignaal verkrijgen. Bij sommige systemen gebruikt men een zg. schakeldetector, waardoor bepaalde componenten van het signaal aan een periodiek omschakelproces worden onderworpen. Een volgens dit principe werkende schakeling (adaptor) wordt aan het slot van het artikel beschreven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Ontwikkelingen op het gebied van elektronische rekenmachines in het laatste decennium

W. Nijenhuis en H. van de Weg

681.14-523.8

De snelle vooruitgang van de elektronische rekenmachines, wat betreft rekensnelheid, betrouwbaarheid en capaciteit, steunt grotendeels op de technologische ontwikkeling van de transistors en diodes, van de magnetische ringkernen en van de magnetische registratie. Dit verband wordt in dit artikel toegelicht, en de mogelijke verdere ontwikkeling van allerlei technieken van vandaag wordt aangestipt.

Inleiding

De elektronische rekenmachine is thans een onmisbaar en niet meer weg te denken hulpmiddel in onze maatschappij. Indien we ons realiseren dat de eerste elektronische rekenmachine (ENIAC) in 1947 werd voltooid en Remington Rand in 1951 de eerste commerciële machine installeerde, dan is het wel duidelijk dat dit soort machines zich op een explosieve wijze heeft ontwikkeld. Bij het doorbladeren van de laatste uitgave van „A survey of domestic electronic digital computing systems" van medio 1961 treft deze snelle ontwikkeling heel sterk; maar ook blijkt dat er in die eerste jaren zeer veel werd gepionierd en geëxperimenteerd. Immers, uit de genoemde lijst van rekenmachines ziet men dat van de 170 beschouwde types er 85 slechts in enkelvoud zijn gemaakt, terwijl ongeveer 90% van het totale aantal gefabriceerde machines voor rekening komt van slechts 15 types. We mogen aannemen dat er in die begintijd weleens te gemakkelijk gelden gefourneerd werden voor een leuke gedachte, een briljante inval, doch zonder hiervan vooraf de consequenties met betrekking tot een compleet systeem goed te doordenken, met als resultaat dat een geconstrueerd model veelal niet door een serie werd gevolgd.

Deze feiten maken het gemakkelijker om aan de hand van het beperkte aantal successen, onder verwaarlozing van veel bijkomstigs, enkele ontwikkelingslijnen van de techniek na te gaan en deze in beknopt bestek weer te geven, zoals in dit artikel de bedoeling is. Tevens zal grotendeels afgezien worden van speciale ontwikkelingen, met name die in de militaire sector. Deze mogen interessant zijn en ook weleens, door de soms exorbitant hoge eisen die gesteld worden, voorlopers zijn van de techniek van morgen; maar de prijsoverwegingen zijn in deze gevallen zo ondergeschikt gemaakt aan andere argumenten dat ze niet kunnen gelden als een reële afspiegeling van de techniek van heden.

Na de eerste periode van verwondering dat het mogelijk bleek een elektronische rekenmachine te maken, was het noodzakelijk alle aandacht aan het *betrouwbaarheidsprobleem* te schenken. Want vooral de betrouwbaarheid treedt naast de prijs naar voren als criterium bij het beoordelen van een bepaalde bouwwijze. Daarbij gaat het enerzijds om de betrouwbaarheid van de onderdelen, anderzijds om die van de verbindingen, zoals stekerverbindingen of soldeerverbindingen. Hoe het in de begintijd met de betrouwbaarheid gesteld was, mag nog even gereleveerd worden aan het voorbeeld van de ENIAC. Als deze werd ingeschakeld, sneuvelden er meestal wel enkele van de 18 000 elektronenbuizen. Een probleem werd vaak meermalen berekend, ten einde uit de gelijkheid van twee uitkomsten tot het juiste antwoord te kunnen concluderen.

Door een betere kwaliteitsbeheersing van de onderdelen gelukte het de betrouwbaarheid hiervan op te voeren. Doch deze vooruitgang hield aanvankelijk maar ternauwernood gelijke tred met de toenemende ingewikkeldheid der machines, waardoor ook zoveel grotere kansen op storingen ontstonden. Menigeen zal zich nog de periode van voor 1957 herinneren, toen de machines van elke geplande 10 uur slechts 7 uur nuttig werk afleverden en de gemiddelde tijd tussen twee storingen 2 à 4 uur bedroeg. Een dag zonder machinefouten was een witte raaf.

Ir. W. Nijenhuis en ir. H. van de Weg (adjunct-directeur) zijn medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven. *— Het artikel is een bewerking van een voordracht, door ir. van de Weg in april 1964 gehouden voor het Nederlands Rekenmachine-Genootschap.*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De situatie van nu is wel veel beter. Allereerst heeft men naast de genoemde kwaliteitsbeheersing betere bouwwijzen gevonden. Deze zullen hieronder meer in detail worden besproken. Maar bovendien heeft men diverse mogelijkheden geschapen om een optredende fout zeer snel op te heffen. Men heeft zg. diagnostische programma's ontwikkeld, welke moeten dienen om de rekenmachine zelf zijn fouten te laten aanwijzen. Ook heeft men de machine gesplitst in een aantal functionele eenheden en groepen daarvan, met bijbehorende alarmeringsmogelijkheden om het gebied van de fout zo effectief mogelijk te lokaliseren. Als gevolg hiervan kan men thans in huur- en koopcontracten voor elektronische rekenmachines de garantie aantreffen dat gemiddeld de bruikbare machinetijd meer dan b.v. 90% zal zijn. De werkelijk verkregen prestaties zijn meestal nog veel beter. Bij een moderne elektronische rekenmachine moet het mogelijk zijn iedere fout in minder dan een half uur te repareren.

Als een bijzonder voorbeeld in dit opzicht kan hier de nieuwe elektronische telefooncentrale van de Bell Laboratories in de Verenigde Staten worden genoemd [1]. Elektronische telefooncentrales hebben veel met elektronische rekenmachines gemeen. Zij gebruiken, om tijdelijk abonneenummers te kunnen onthouden, eveneens geheugens, en zij zijn opgebouwd met dezelfde soorten bouwstenen als de rekenmachines (in hoofdzaak flipflops en poorten). Deze bouwstenen zijn tegenwoordig aangebracht op hardpapieren of glas-epoxy-kaarten met gedrukte bedrading (zg. print-kaarten). De ontwerpers van het Bell-systeem willen nu met hun diagnostische programma's zover gaan dat de fout tot op de bewuste print-kaart gelokaliseerd kan worden, zodat het onderhoud door ongeschoolde krachten kan geschieden. Weliswaar moet worden toegegeven dat van een telefooncentrale in zekere zin een nog grotere betrouwbaarheid moet worden geëist dan van een normale commerciële rekenmachine, maar ook bij de rekenmachines zal men in de toekomst een dergelijke onderhoudsmethode kunnen verwachten.

Indien het voorgaande enigszins optimistische uitlatingen over de betrouwbaarheid van de moderne elektronische rekenmachine bevatte, dan moeten daarnaast toch ook enkele opmerkingen in mineur gemaakt worden. Ten eerste is weliswaar een zeer behoorlijke betrouwbaarheid bereikt voor de elektronische circuits, doch in veel mindere mate voor de elektromechanische apparatuur, die we in de periferie van de rekenmachine tegenkomen. De meeste storingen worden nog altijd door deze apparatuur veroorzaakt, en hieraan is slechts gedeeltelijk tegemoet te komen door veel preventief onderhoud. Ten tweede is nog geen enkele rekenmachine geheel betrouwbaar in die zin dat hij, indien de gebruiker dit wenst, met zekerheid zal werken b.v. woensdag van half drie tot vijf uur. Deze garantie kan nog niet gegeven worden. Van de bovengenoemde telefooncentrale wordt dit wel geëist.

Men kan de betrouwbaarheid bijzonder groot maken door de zg. *redundantie* in de schakelingen sterk op te voeren. Zo kan men b.v. voor elke buis twee buizen parallel schakelen. Een weerstand R kan men realiseren (zoals voor versterkers in onderzeekabels wel wordt gedaan) door vier weerstanden R die men twee aan twee in serie en parallel schakelt, zodat bij een defect van één ervan door onderbreking of kortsluiting in ieder geval een verbinding met weerstand blijft bestaan. Een wat andere vorm van redundantie heeft men, als voor een bepaalde functie in het systeem meer dan één schakeleenheid aanwezig is. Het systeem kan tijdens het werken constateren of een schakeleenheid defect is en dan daarvoor in de plaats een intacte schakeleenheid zoeken; het gevolg is dat bij storingen het systeem als geheel niet behoeft uit te vallen. De rekenmachinetechniek kan in dit opzicht nog wel wat overnemen van de telefoontechniek. Van een redundantie in de circuits is in de huidige rekenmachinetechniek nog weinig te bespeuren, zelfs in die gevallen waarin men een rekenmachine voor de volle 24 uur per dag in dienst wil hebben zonder uitvallen. Men neemt dan vaak genoegen met het in meervoud uitvoeren van de gehele rekenmachine.

Van de technieken die men in elektronische rekenmachines in de loop van hun ontwikkeling heeft ingevoerd en die naast verlaging in prijs vooral een betrouwbaarheidsverbetering hebben gegeven, willen we in het onderstaande iets meer in detail de geschiedenis volgen. Tevens zal veel aandacht geschonken worden aan de zeer toegenomen *snelheid* van bijna alle delen in een elektronische rekenmachine.

Bouwelementen; logica-schakelingen

Tien jaar geleden werden nog allerwegen *buizen* (meestal dubbele triodes) in de rekenmachines toegepast. Tegelijk werd toen ijverig geëxperimenteerd met de in 1948 uitgevonden puntcontacttransistor. In Engeland [2] en in de Verenigde Staten [3] werden hiermee zelfs nog rekenmachines gemaakt. De puntcontacttransistor kan als snelle elektronische schakelaar fungeren, met schakeltijden van 0,1-10 microseconden. Hij was echter nogal fragiel en moeilijk reproduceerbaar te maken, zodat men al spoedig algemeen overging op de *lagentransistor*. Deze werd aanvankelijk gemaakt volgens de optrekmethode, tot het eenvoudiger legeringsprocédé werd gevonden. De lagentransistor, oorspronkelijk aangekondigd als een laagfrequent versterkend element, werd door steeds betere methodes van vervaardiging voor steeds snellere schakelingen geschikt. Waren met de beste legerings-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

transistors schakeltijden van ca. 1 μs mogelijk, de invoering van de diffusiemethodes heeft geleid tot transistors die schakeltijden van enkele nanoseconden toelaten. Enige gegevens omtrent deze verschillende soorten transistors en de daarmee bereikte snelheden zijn in *tabel I* verzameld.

Ook de techniek van de epitaxiale kristalgroei en het gebruik van maskertechnieken hebben bijgedragen tot het verbeteren van de eigenschappen van de transistor, b.v. tot het verlagen van de kniespanning van de transistorkarakteristiek. Bovendien ging men omstreeks 1957 over van germanium naar silicium, hetgeen een

Tabel I. Schakeltijd, bereikbaar met verschillende soorten transistors.

Soort transistor	Jaar van invoering	Schakeltijd (nanoseconden)
puntcontacttransistor	1948	10 000-100
lagentransistor:		
in optrektechniek	1949	idem
in legeringstechniek	1954	idem
in diffusietechniek	1956	100-5
in planaire techniek	1960	100-5
veldeffecttransistor	1962	1000-20

verminderde lekstroom en een betere stabiliteit tot gevolg had. Hierbij heeft de zg. planaire techniek de mogelijkheid gegeven om de *P-N*-overgangen tijdens hun ontstaan door een siliciumoxidehuid te laten beschermen tegen de invloed van de atmosfeer, waardoor nogmaals de reproduceerbaarheid en ook de levensduur werden verbeterd. Bovendien bleek deze techniek mogelijkheden te bieden waarop we hieronder (bij de microminiaturisering) nog nader zullen ingaan.

Ook de veldeffecttransistor — reeds lang op papier voorgesteld — kon volgens de beschreven fabricagemethodes met succes worden vervaardigd.

De ontwikkeling van de *diodes* volgde in grote lijnen die van de transistor, nadat men omstreeks 1950 van de oude seleniumgelijkrichters was overgestapt op puntcontactdiodes van germanium. Willen diodes ook bij hoge frequenties (oftewel bij snel schakelen) als gelijkrichter blijven werken, dan is o.a. een kleine waarde van de eigen capaciteit van groot belang. Hieraan voldeden de puntcontactconstructies, maar deze waren, zoals boven reeds vermeld, te weinig robuust. Robuustere diodes kunnen worden gemaakt volgens de legeringstechniek. Door een werkwijze waarbij men het legeren teweegbrengt door het vastlassen van de toevoerdraad, waarvoor men een gouddraad neemt, kan men zeer snelle diodes verkrijgen („gold-bonded diode"). In het algemeen kan men diodes sneller maken door het inbrengen van bepaalde verontreinigingen in het germanium of silicium, de zg. „killers", waarvan goud het voornaamste voorbeeld is. Ten slotte opende de invoering van de Schottky-diode, die gemaakt wordt door een laagje metaal op het silicium aan te brengen, de mogelijkheid om de snelheid van de diodes nog verder op te voeren.

In *tabel II* zijn de schakeltijden van deze successievelijk gebruikte typen diodes aangegeven.

In deze tabel zijn ook nog twee soorten diodes vermeld die niet om hun gelijkrichtende werking worden gebruikt, nl. de tunneldiode en de Boff-diode. Hier volgen nog enkele opmerkingen over deze twee soorten.

De tunneldiode, door Esaki in 1958 gevonden, heeft door de vorm van zijn karakteristiek twee verschillende aspecten, nl. als bistabiel element en als versterker. Hij beloofde dank zij zijn inherent bijzonder snel schakelmechanisme een hoogfrequent logica-element te zullen worden. Echter waren de moeilijke reproduceerbaarheid en het geringe spanningsverschil tussen de twee stabiele toestanden zo bezwaarlijk bij toepassing in grotere systemen dat de belangstelling voor dit onderdeel spoedig verflauwde. Tegenwoordig ziet men de tunneldiode vooral als een nuttig hulpelement om transistorschakelingen te kunnen versnellen, b.v. de schakeling voor het doorgeven van de overdrachten (carry) naar de volgende cijferpositie bij een optelling; verder als een geheugenelement voor kleine hypersnelle geheugens en voor zeer snelle telcircuits, ook vooral in kernfysische toepassingen.

De Boff-diode (ook wel „snap-off diode" genoemd), die als een vertragingselement met vertragingen in de orde van enige tienden microseconden werkt, is van

Tabel II. Schakeltijden van verschillende soorten diodes.

Soort diode	Jaar van invoering	Schakeltijd (nanoseconden)
puntcontactdiode	1947	100-0,1
in legeringstechniek	1950	≈ 5000
„gold-bonded diode"	1955	50-5
in planaire techniek	1960	50-5 *)
Schottky-diode	1963	< 0,2
tunneldiode	1958	5-0,1
Boff-diode	1962	0,2

*) Mits klein en met goud-killers.

[1] No. 1 Electronic Switching System, Bell Syst. tech. J. **43**, 1831-2592, 1964 (no. 5, delen 1 en 2).
[2] E. H. Cooke Yarborough c.s., Proc. IEE **103 B**, suppl. no. 3, blz. 361, 1956.
[3] J. H. Felker, Proc. IRE **40**, 1584, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

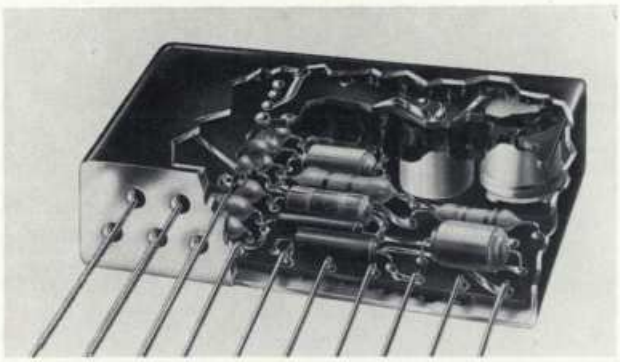
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

recente datum. Zijn toepassing berust erop dat een aanvankelijk geleidende diode die men plotseling blootstelt aan een spanning in keerrichting, gedurende een korte tijd ook in deze keerrichting de stroom geleidt, en wel hangt deze tijd af van de oorspronkelijke voorwaartsstroom. De geleiding in keerrichting eindigt met een zeer steile flank, waaraan de uiterst korte schakeltijd beantwoordt. Men onderzoekt thans welke mogelijkheden deze diode, b.v. in combinatie met de tunneldiode, biedt [4].

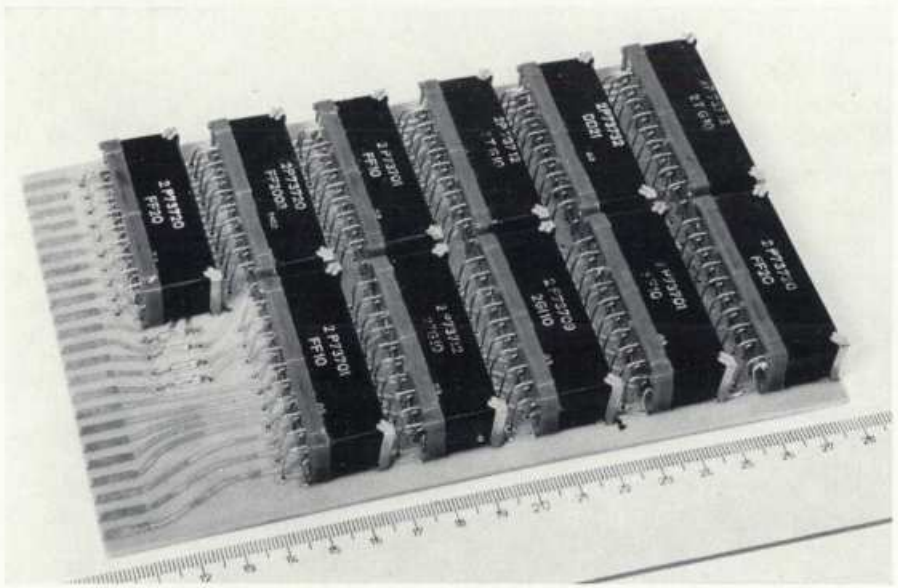
Een korte bespreking van de meest gebruikte *passieve elementen* (weerstanden en condensatoren) zal nu worden gegeven, parallel met een beschouwing van de ontwikkeling van de circuits.

pakkingsdichtheid nam hierdoor toe tot ca. 0,5 onderdeel per cm³. Door de invoering van de transistor kon men de dissipatie tot veel kleinere waarden terugbrengen. Hierdoor konden weerstanden voor geringer vermogen (0,05 watt) en dus met kleinere afmetingen worden gebruikt.

Toepassing van deze onderdelen, gecombineerd met de toepassing van gedrukte bedrading op een hardpapieren of glas-epoxy-kaart, leidde tot de bovengenoemde print-kaart en maakte het mogelijk de pakkingsdichtheid nogmaals een factor 5 te vergroten, tot 2,5 onderdeel per cm³. Tevens werd hierdoor de fabricage zeer gerationaliseerd: het solderen van alle onderdelen op een kaart kan nu met dompelsolderen



a



b

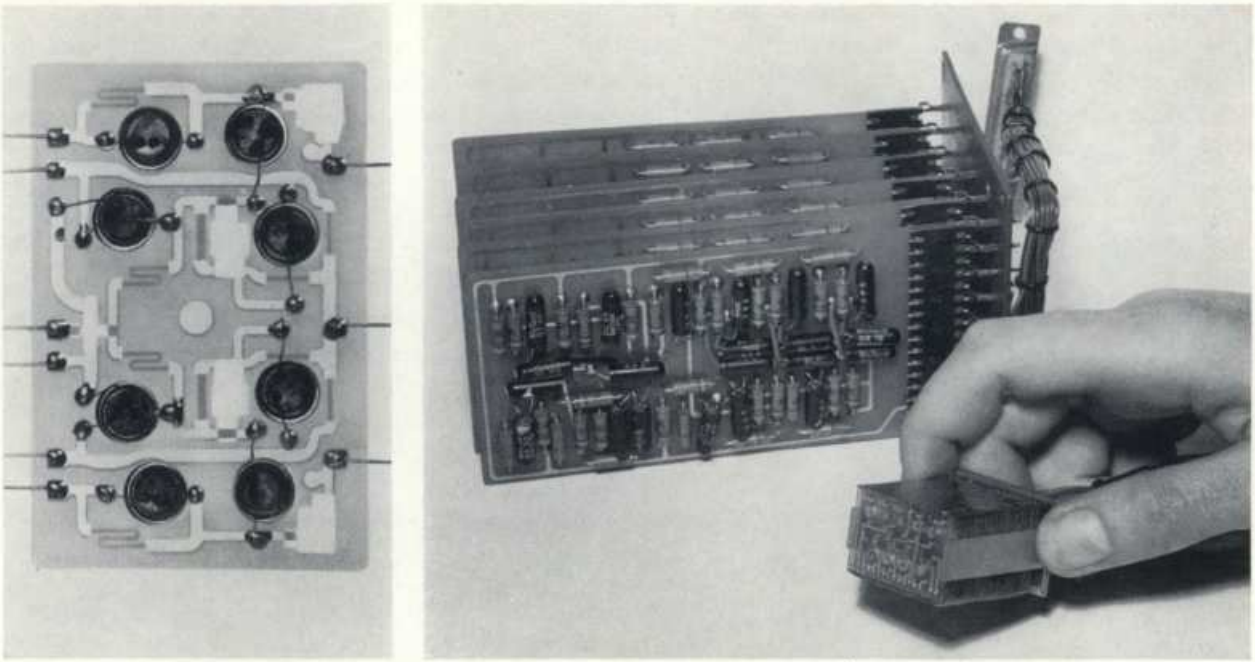
Fig. 1. *a*) Bouwsteen in miniatuurtechniek, opengesneden. Een volledige logica-schakeling is hier aangebracht op een hardpapieren kaart met gedrukte bedrading; in een blokje zijn twee dergelijke kaarten ondergebracht. De lengte van het blokje is ca. 5 cm. *b*) Reeks bouwstenen als (*a*), aangebracht op een kaart met gedrukte bedrading.

In het begin van de jaren vijftig gebruikte men in combinatie met buizen nog normale radio-onderdelen, waardoor vrij grote constructies ontstonden: de gemiddelde pakkingsdichtheid bedroeg ongeveer 0,1 onderdeel per cm³. De onderdelen werden enerzijds steeds betrouwbaarder en stabieler, terwijl anderzijds de vormgeving meer aangepast werd bij de functionele bouw van de ermee gemaakte logica-eenheden. De in een enkele bewerking geschieden. Eventueel kunnen de aldus gevormde eenheden nog tegen weersinvloeden worden beschermd door ze in te gieten in een kunsthars.

Kiest men voor de bedrading tussen dergelijke eenheden ook weer kaarten met gedrukte bedrading, dan wordt een zeer compacte bouw verkregen. Deze techniek is thans al ruim 5 jaar gemeengoed en staat bekend als *miniatuurtechniek* (*fig. 1a, b*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a *b*

Fig. 2. Microminiaturisering. *a*) Microcircuit op glazen drager. Lengte 3 cm. Het afgebeelde circuit (een trap van een schuifregister voor 100 kHz) bevat 2 transistors, 6 diodes, 10 weerstanden en 4 condensatoren. *b*) Een aantal microcircuits, op elkaar gestapeld om een grotere eenheid te vormen. Erachter ziet men een equivalente eenheid in gewone miniatuurtechniek (de kaarten zijn hier niet in blokjes ondergebracht als in fig. 1).

Wat betreft de verkleining staan we echter thans te midden van een spectaculaire verdere ontwikkeling. Verkleining is altijd al een streven geweest in de elektronische industrie. In sommige gevallen was dit een doel op zichzelf, zoals voor vliegtuigapparatuur; bij rekenmachines is het o.a. een middel om de betrouwbaarheid op te voeren. Bij de bedoelde ontwikkeling, de zg. *microminiaturisering*, worden nl. de circuits op geïntegreerde wijze vervaardigd, d.w.z. zodanig dat de verbindingen tussen een aantal onderdelen reeds tegelijk met de fabricage van de onderdelen worden gemaakt. Men kan dan een verhoogde betrouwbaarheid verwachten doordat minder soldeerpunten in de schakelingen nodig zijn. Tevens hoopt men met de kleinere circuits ook grotere schakelsnelheden te bereiken.

Voor het maken van deze geïntegreerde circuits kunnen twee fundamenteel verschillende methodes worden onderscheiden, nl. de *dunnelaagjestechniek*, die uitgaat van het opdampen van weerstanden en condensatoren, en de *kristalschakelingen*, waarvan de moderne planaire fabricagemethodes voor transistors het uitgangspunt vormen.

Bij de dunnelaagjestechniek dampt men op een glazen drager een aantal weerstanden en condensatoren op, benevens de nodige verbindingsgeleiders. Deze eindigen op een aantal opgedampte contacten. Een moeilijkheid bij deze techniek is dat de transistors en de diodes nog afzonderlijk op de een of andere wijze aan de configuratie moeten worden gesoldeerd. Grotere eenheden maakt men b.v. door een aantal plaatjes op elkaar te stapelen (*fig. 2*). Men bereikt met deze zg. *microcircuits* een wederom 5× grotere pakkingsdichtheid, van ca. 15 onderdelen per cm³.

In de kristaltechniek worden juist de transistors en de diodes zeer eenvoudig verkregen, door deze met de planaire techniek in een siliciumkristal aan te brengen; daarentegen vormen hier de weerstanden en condensatoren de elementen die niet aan de gebruikte techniek zijn aangepast. Men behelpt zich door als condensator een in keerrichting geschakelde *P-N*-overgang te gebruiken en als weerstand een gediffundeerde strook van een halfgeleidermateriaal met een geschikt geleidingsvermogen, waarvan het overige kristal is geïsoleerd door een *P-N*-overgang in de keerrichting. In principe kan men met deze techniek nog veel grotere pakkingsdichtheden bereiken dan bij de microcircuits; een schatting van een extra-factor 5 hiervoor is aan de veilige kant. De te bereiken factor is vooral afhankelijk van de kunst om deze kleine „chips", die een oppervlakte van slechts enkele mm² beslaan, met miniatuurmiddelen door te verbinden (*fig. 3*).

[4] B. E. Sear, Charge controlled nanosecond logic circuitry, Proc. IEEE **51**, 1215-1227, 1963.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Reeds omstreeks 1960 was de technologie zo ver ontwikkeld dat de fabrikanten inzagen (het eerst Texas Instruments en Fairchild) dat de microminiaturisatie ook economische mogelijkheden kon inhouden. Dit is op dit ogenblik nog geen realiteit, maar de verwachtingen dat de prijzen van deze circuits zullen dalen en binnen enkele jaren zullen kunnen concurreren met die van conventionele circuits, zijn nog steeds hoog gespannen.

Welke van de twee genoemde technieken het uiteindelijk zal winnen, is nog niet te voorspellen. Indien het zal gelukken om nog kleinere weerstanden en condensatoren met nauwere toleranties op de kristaldrading, stekers) kunnen worden samengevoegd. Daarbij komt direct de vraag naar voren hoeveel eenheden te zamen een blok moeten vormen om tot een soort optimum te komen. Zonder dit uit te werken, kunnen we toch zeggen dat hierbij een aantal tegenstrijdige en deels van de stand der techniek afhankelijke factoren meespelen: grotere blokken kunnen voordelig zijn in de fabricage, maar hoe kleiner een blok, des te gemakkelijker zal men kunnen afzien van de eis van repareerbaarheid; in dit verband spelen dan de prijs van het blok, de levensduur en betrouwbaarheid van de onderdelen erin, de kosten van geschoold onderhoudspersoneel en de prijs van de nodige reserve-eenheden een rol.

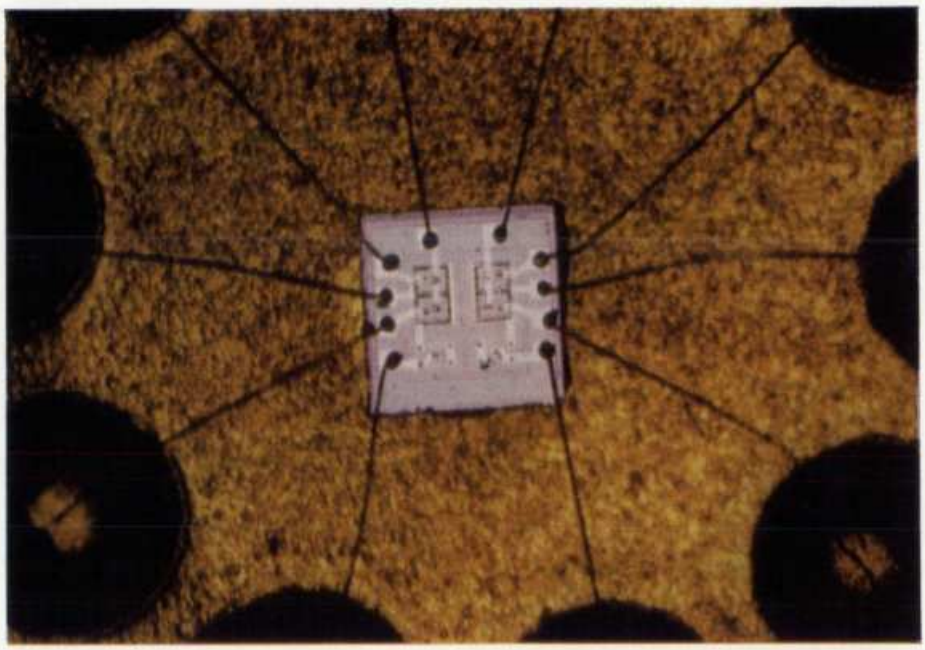


Fig. 3. Microminiaturisering volgens de kristaltechniek. Het vierkantje in het midden (een „chip", afmetingen 1×1 mm^2) bevat vier transistors en vier weerstanden. Men ziet de verbindingen naar rondom geplaatste normale contacten.

schakeling op te dampen, dan heeft men bijzonder elegante eenheden verkregen. Een mogelijke factor ten gunste van de dunnelaagjestechniek echter is het feit dat zich nu een methode aangediend heeft om veldeffecttransistors en diodes (de Schottky-diode) eveneens door opdampen te vervaardigen.

In verband met de toepassing van deze kleine circuits zijn er nog wel praktische problemen. Daar is de kwestie van de ontwikkelde warmte, die een principiële grens stelt aan de pakkingsdichtheid. Verder heeft men te maken met het reeds genoemde probleem van het betrouwbaar *doorverbinden* van een aantal van deze kleine eenheden met behulp van miniatuurtechnieken. Hierdoor kan men grotere functionele blokken maken, welke dan met conventionele middelen (gedrukte bedoordat delen van de micro-logica moeten samenwerken met stukken conventionele apparatuur in de geheugens en de randapparatuur van de rekenmachine, zullen aan de te kiezen montagemethodes zeker nog bijkomende eisen worden gesteld.

Het gehele gebied van de microminiaturisering bevindt zich op dit moment in een revolutionaire ontwikkeling en het is hier, zoals bij alle revoluties, zeer moeilijk om de eindtoestand te voorzien.

Tot slot van dit hoofdstuk mogen nog enkele opmerkingen volgen over de *soort schakelingen* die in de bouwstenen worden toegepast. Het meest komen de „nand"- en de „nor"-circuits voor. Deze kunnen nog op diverse wijzen worden verwezenlijkt, zoals moge blijken uit *fig. 4*, waarin de meest gangbare oplossin-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gen zijn voorgesteld [5]. Allerwegen is gepoogd om voor deze circuits en nog enkele varianten een optimale oplossing te bepalen, waarbij men velerlei criteria kan aanleggen: snelheid, gevoeligheid voor storingen, storingsproduktie, invloed van toleranties en verloop van onderdelen, energieverbruik, bereikbare „fan out" (dat is het aantal soortgelijke schakelingen dat door de betrokken schakeling nog kan worden gestuurd). Gaat men echter na hoe de mogelijke schakelingen onder de ongunstigste omstandigheden werken (zg. „worst case"-berekeningen), dan blijkt dat geen enkele uitvoering van de circuits in alle genoemde opzichten tegelijk optimaal kan zijn, zodat men gedwongen is een keuze te doen onder aanhouding van die eigenschappen die voor de gedachte toepassing het meest waardevol zijn.

De genoemde berekeningen worden tegenwoordig meestal met de elektronische rekenmachine uitgevoerd, waarbij men voor de transistorkarakteristiek gewoonlijk volstaat met een lineaire benadering. Een enkele poging is reeds gedaan om het niet-lineaire gedrag van de keerlagen in deze schakelingen in rekening te brengen, waardoor vooral de overgangsverschijnselen kwantitatief nauwkeuriger kunnen worden nagegaan. Men kan opmerken dat de elektronische rekenmachine meer en meer aan het werk wordt gezet voor het ontwerpen van zo goed mogelijke soortgenoten en voor het verbeteren van de diverse fabricageprocessen daarvoor, zoals b.v. het maken van optimale bedradingspatronen, het maken van tekeningen, stuklijsten en bedradingslijsten enz. — aldus bijdragende tot een zekere eugenetiek voor deze robots.

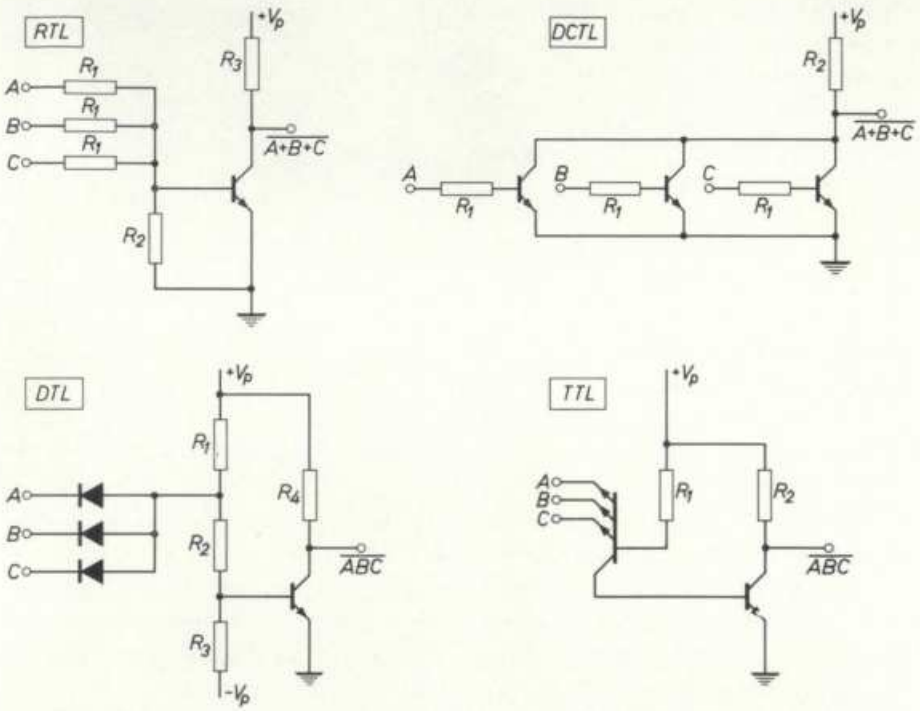


Fig. 4. Verschillende logica-schakelingen met transistors. De bovenste twee zijn „nor"-circuits, de onderste twee „nand"-circuits. De schrijfwijze $\overline{A+B+C}$ geeft aan „niet (*A* of *B* of *C*)", d.w.z. aan de uitgang van de schakeling zal de waarde „0" verschijnen (in casu uitgebeeld door een *lage* spanning) zo gauw op minstens één der ingangen *A*, *B*, *C* de waarde „1" (een *hoge* spanning) aanwezig is. De schrijfwijze $\overline{ABC}$ geeft aan „niet (*A* en *B* en *C*)", d.w.z. aan de uitgang verschijnt de waarde „0" slechts indien op *A* èn *B* èn *C* de waarde „1" aanwezig is.

Snelle werkgeheugens

Tot de verbetering van de betrouwbaarheid van elektronische rekenmachines heeft wel het meest bijgedragen de invoering, thans ongeveer 10 jaar geleden, van de *magnetische ringkernen* voor de geheugens. De voordien toegepaste geheugens bevatten akoestische vertragingslijnen met meestal kwik (soms ook nikkeldraad of kwarts) als transmissiemedium, of ook katodestraalbuizen, meestal naar de uitvinder van deze toepassing Williams-buizen genoemd. Aan de trommelgeheugens, die indertijd in langzamere machines ook wel voor het werkgeheugen werden toegepast, wordt aandacht besteed in het volgende hoofdstuk. Aan de beide

[5] R. Foglesong, Integrated circuits design and application, Semicond. Prod. and Solid State Technol. **7**, no. 3, 32-34 en 39-42, 1964.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

andere genoemde typen geheugens kleefden ernstige bezwaren. Zo was de temperatuuraf hankelijkheid van de vertragingslijnen een probleem; bij de Williams-buis was het de vluchtigheid van de ladingspatronen op het beeldscherm, daar deze een voortdurende regeneratie noodzakelijk maakte.

Juist toen men de diverse technologische problemen van de Williams-buis ongeveer baas geworden was, kwam de magnetische ringkern, mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van ferrieten met rechthoekige hysteresislus, en daarmede een grote en snelle vooruitgang in de geheugentechniek.

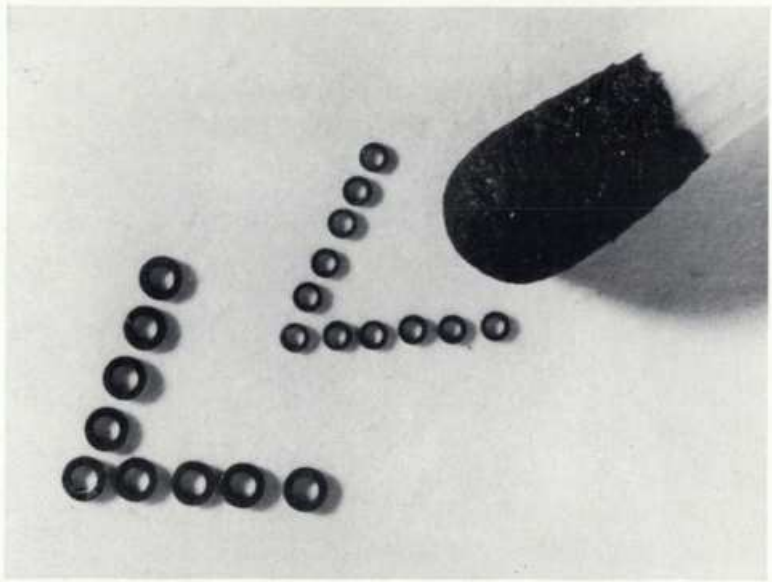


Fig. 5. Ferrietringetjes van resp. 0,050 en 0,030 inch uitwendige diameter. De luciferkop geeft de schaal aan.

Indien we afzien van enkele soorten grotere ringen voor speciale toepassingen, kunnen we stellen dat de eerste ring die praktische toepassing vond voor rekenmachinegeheugens een uitwendige diameter had van 0,080 inch, d.i. ca. 2 mm. Hiermede kon men een cyclustijd van 10 μs halen. Deze cyclustijd is samengesteld uit twee schakeltijden (nl. voor het destructief lezen en het weer terugschrijven) en enige tijd daartussen en daarna, nodig voor het uitsterven van overgangsverschijnselen in de versterkers voor de schakelstromen en in andere delen van de elektronische schakeling. Om kortere cyclustijden te verkrijgen, moest men zowel streven naar een beperking van de overgangsverschijnselen als naar een verkorting van de eigenlijke schakeltijd. Voor dit laatste doel moet men ringen met een grotere coërcitie gebruiken en voor het lezen en schrijven een grotere veldsterkte toepassen. Dit betekent echter, aangezien men de grotere veldsterkte met ongeveer dezelfde stromen wil opwekken, dat men tot kleinere ringen moet overgaan. Hierdoor kunnen de geheugenmatten compacter worden, en doordat bij een kleinere mat de spanningsstoten die bij het schrijven optreden, geringer zijn, heeft dit tevens een gunstig effect op de overgangsverschijnselen in de versterkers. Door een en ander werd de genoemde waarde van de cyclustijd tot 6 μs verlaagd met een ringkern van 0,050 inch diameter (*fig. 5*).

De fabricageontwikkeling wierp zich daarna vooral op het vergroten van de betrouwbaarheid. Door betere kennis van het sinterproces van het gebruikte ferriet kon de reproduceerbaarheid van de eigenschappen van het geheugenelement sterk worden verbeterd. Door gunstiger samenstelling van het materiaal werden een kleinere temperatuuraf hankelijkheid en een betere rechthoekigheid van de hysteresislus verkregen. Bovendien werd veel aandacht besteed aan de verbetering van de methodes voor het bedraden van de ringen bij de verwerking tot geheugenmatten.

Geleidelijk kreeg men de technologie zo goed onder de knie dat men in 1961 kon overgaan tot weer kleinere ringen, met een uitwendige diameter van 0,030 inch (fig. 5). Het gevolg hiervan en van de inmiddels bereikte aanzienlijke versnelling van de bijbehorende elektronische schakelingen was een verkorting van de cyclustijd tot ca. 2 μs.

Het behoeft geen betoog dat de problemen van het bedraden van de ringen groter werden; men moest immers door een gaatje met een diameter van 0,4 mm minstens drie draden trekken. De algemene opinie was wel dat men hiermede de praktische grens van deze geheugens had bereikt. Echter lukt het de laatste tijd niet alleen nog kleinere ringkernen te stoken (met 0,020 inch uitwendige diameter), doch zelfs deze met niet al te grote moeite te bedraden (*fig. 6* en *7*). Met deze ringen bereikt men cyclustijden van ongeveer 1 μs.

Thans is men bezig zich te bezinnen op principiële en praktische grenzen die aan deze techniek gesteld zijn. Vast staat dat men nog kleinere ferrietringen kan maken, doch de vragen of men deze nog kan bedraden, en zo ja, of dan niet andere moeilijkheden gaan optreden, b.v. dat de weerstand van de dunne draden een bezwaar gaat vormen, zijn nog niet beantwoord. Wel mag verwacht worden dat men binnen enkele jaren een cyclustijd van ongeveer 0,5 μs zal kunnen halen. In *tabel III* zijn voor de genoemde ringkernen de schakeltijd en de nodige schakelstroom opgenomen, benevens het jaar van invoering. Uit de verschillen in schakeltijd in deze tabel mag men overigens niet te stringente

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel III. Afmeting, schakeltijd en schakelstroom van successievelijk gebruikte magnetische ringkernen.

Uitwendige diam. van ring (inch)	Jaar van invoering	Schakeltijd (μs)	Schakelstroom (mA)
0,15	1953	10	400
0,080	1955	1,5	700
0,050	1958	1,0	500
0,030	1962	0,5	650
0,020	1964	0,2	850

conclusies trekken, want de ringen waaraan de waarden werden gemeten, liepen zowel wat de dikte als wat het gebruikte ferriet betreft nogal uiteen, terwijl ook de toegepaste stromen verschillen, zoals men in de tabel ziet.

Het heeft niet aan aanvallen op het door de ringkern bestreken terrein ontbroken. Men heeft gepoogd andere oplossingen voor snelle geheugens te vinden door *andere vormgeving* van het ferriet, door het zoeken naar *andere materialen* met rechthoekige hysteresislus, en door toepassing van materialen die een principieel *sneller schakelmechanisme* bezitten.

Zo heeft men een voorstel gedaan een geheugen te maken van vlakke vierkante platen van ferriet waarin een matrix van gaatjes is aangebracht [6]. Een deel van de bedrading wordt automatisch op de platen bevestigd, de rest kan zeer eenvoudig worden doorgetrokken. Voor zover ons bekend, is heden de enige toepassing van deze platen op grotere schaal te vinden in het geheugen van de reeds genoemde elektronische telefooncentrale van de Bell Laboratories.

Een ongeveer rechthoekige hysteresislus treft men

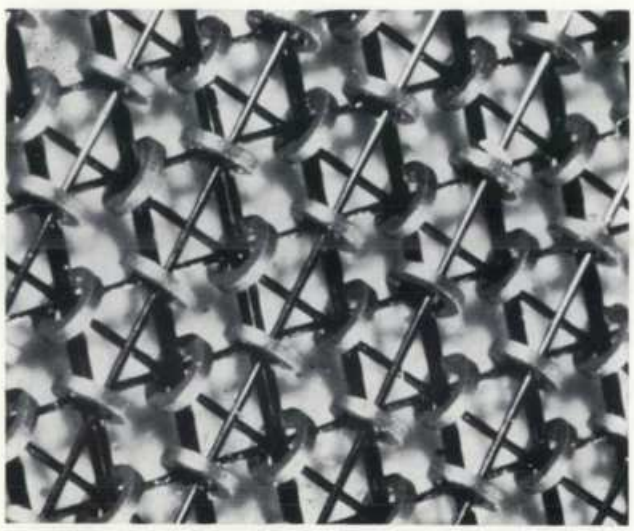


Fig. 6. Stukje van een geheugenmat gevormd met ringkerntjes van 0,020 inch diameter.

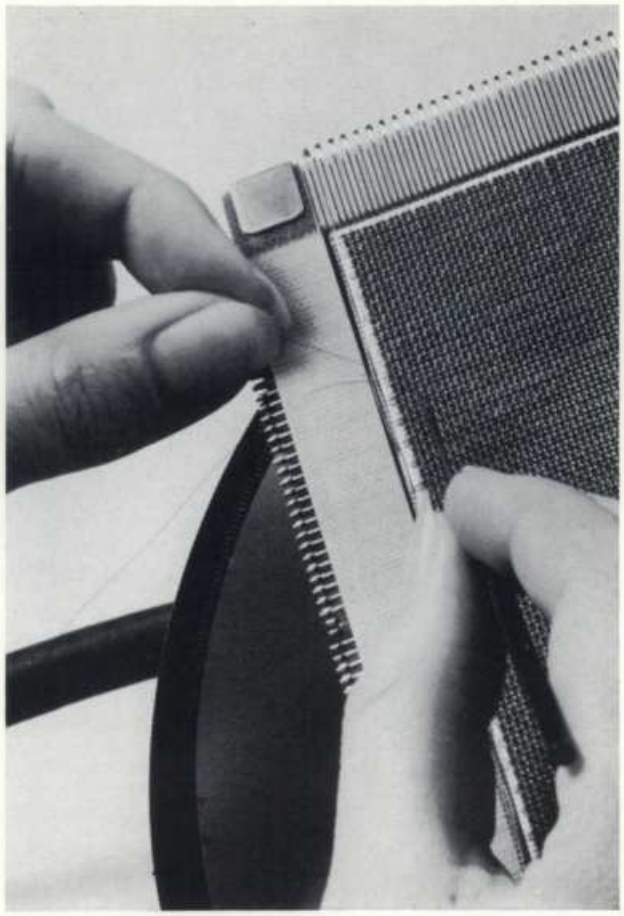


Fig. 7. Het bedraden van een geheugenmat als die van fig. 6.

ook aan bij sommige diëlektrica, met name bij bariumtitanaat en GASH [7], maar een eigenschap maakt deze stoffen inferieur aan de magnetische materialen, nl. het feit dat de hierop gebaseerde geheugenelementen tweepolen zijn. Met de magnetische stoffen kan men elementen maken met galvanisch gescheiden ingangs- en uitgangsdraden, hetgeen veel meer mogelijkheden biedt. Een ander bezwaar is b.v. bij bariumtitanaat het geheugenverlies.

Onder de geheugenelementen met snellere schakelmechanismes moeten vooral de dunne magnetische metaallaagjes vermeld worden (*fig. 8*), waarbij de magnetisatie niet door verschuiving van Bloch-wanden omslaat, doch door de veel sneller verlopende draaiing van de magnetisatierichting in een Weiss-gebied. De schakeltijden die hiermede te bereiken zijn, liggen in

[6] J. A. Rajchman, Proc. IRE **45**, 325, 1957.
R. H. Meinken, Conf. Magnetism and magnetic materials, Boston 1956, blz. 674.
J. A. Rajchman, Computer memories; a survey of the state-of-the-art, Proc. IRE **49**, 104-127, 1961.

[7] Guanidine-Aluminium-Sulfaat-Hexahydraat. — Guanidine is een stof die het eerst ontdekt is in guano.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

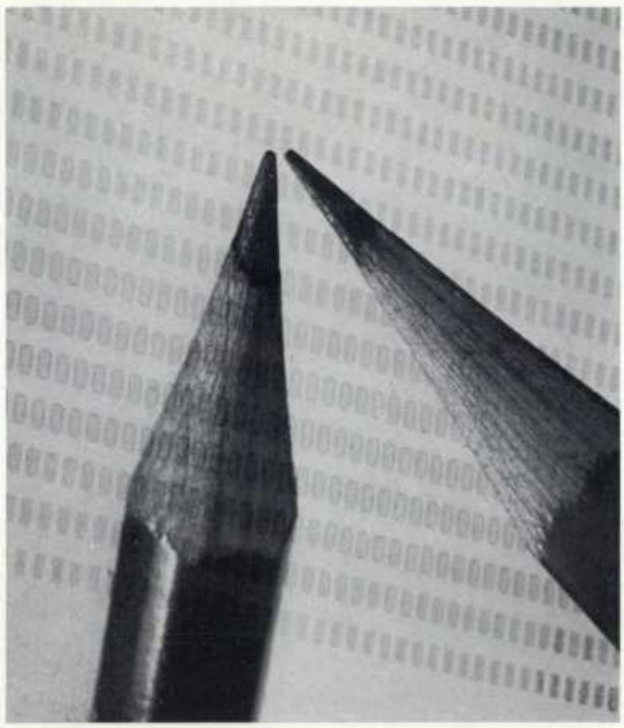


Fig. 8. Geheugen waarvan elk element is gevormd door een zeer dun magnetisch metaallaagje op een aluminiumdrager. De potloodpunt (die zich in het aluminium weerspiegelt) geeft de schaal aan.
De bedrading van dit geheugen wordt op verschillende mylarfoelies aangebracht, die op het patroon van elementen worden gelegd.

de orde van nanoseconden, doch een geheugen waarbij deze snelheid ten volle wordt benut, is nog niet gemaakt. De enige geheugens met dunne laagjes die thans op de markt zijn, hebben cyclustijden van 0,3 à 1 μs, terwijl in een laboratoriumstudie een prototype van een geheugen met een cyclustijd van 0,1 μs is gerealiseerd. Overigens kleeft aan de laagjes nog het bezwaar van een relatief zeer kleine uitgangsspanning, nl. ca. 1 mV, vergeleken met tientallen mV bij de ringkernen. De ferrietring is derhalve voorlopig nog in het voordeel, en de dunne laagjes zullen eerder terrein moeten prijsgeven dan winnen.

Hiermede is niet gezegd dat de dunne laagjes de wedloop al verloren hebben. Het is denkbaar dat bij een goede technologische beheersing van de fabricageprocessen de laagjesgeheugens (wel te verstaan met inbegrip van hun stuur- en leescircuits) uiteindelijk goedkoper zullen worden dan overeenkomstige ringkerngeheugens. Dan zal ten slotte niet de snelheid, doch de economie beslissen. Voorshands is dit echter nog niet het geval. En of de dunne laagjes na enige jaren een kans zullen maken, zal sterk afhangen van de mogelijkheden die dan het *kryogene geheugen* zal bieden, terwijl ook de nieuwste vindingen op het gebied van ferrietgeheugens, de zg. *microferrieten* en de *ferriet-plakken* [8], voor de toekomst veelbelovend lijken.

Kryogene geheugens maken gebruik van stoffen die bij lage temperaturen supergeleidend worden. Met opdamptechnieken kan men hiervan zeer kleine geheugenmatten maken (b.v. 128×128 bits op een oppervlakte van 5×5 cm²). De schakelingen voor de selectie van het gewenste woord uit het geheugen kunnen met dezelfde middelen worden vervaardigd en vormen met de mat een geïntegreerd geheel. Men voorziet de mogelijkheid van geheugencapaciteiten in de orde van 10^9 bits. Door de zeer lage weerstanden is echter een beperking gesteld aan de schakelsnelheid van grotere eenheden, daar deze bepaald wordt door L/r-tijden. De schakeltijd zal van de orde van 1-10 μs zijn. Een voordeel van deze kryogene elementen is dat men dank zij de oneindig grote verhouding tussen de weerstandswaarden in de gewone en in de supergeleidende toestand geen stoorspanningen ten gevolge van de bij het schakelen gebruikte halfstromen [9] krijgt, en dat men daardoor in principe zeer grote geheugenmatten kan verwezenlijken. De technologische problemen zijn voorlopig echter nog groot. Ook moet het probleem van het vinden van een zo economisch mogelijke koelmethode voor deze toepassing onder ogen worden gezien [10].

Men hoopt dat de microferrieten en ferriet-plakken mogelijkheden zullen bieden voor geheugens in de orde van ca. 10^7 bits. Aan een aantal prototypes van deze soort heeft men cyclustijden van 0,1 à 1 μs gemeten. De uitgangsspanningen zijn van dezelfde orde van grootte als bij de metallieke magnetische laagjes. De vereiste leesstromen kunnen 50 à 200 mA zijn.

Al deze getallen wijzen erop dat de modernste geheugenontwikkelingen meer en meer gaan in dezelfde richting als die van de logica-schakelingen in microminiatuurvorm, zodat men op den duur zeer veel kleinere rekenmachines kan verwachten, waarin logica en geheugen beter bij elkaar aangepast zijn en dus een meer geïntegreerd karakter kunnen hebben dan tot nu toe. In dezelfde richting werkt het streven dat men thans opmerkt om meer en meer logica-schakelingen voor selectie in de geheugens zelf onder te brengen.

Behalve aan de snelle werkgeheugens waarover in dit hoofdstuk is gesproken, bestaat er ook behoefte aan een snel en goedkoop *permanent of semi-permanent geheugen*, waarvan de informatie zeer snel niet-destructief kan worden uitgelezen, doch waarvan de inhoud eventueel vrij langzaam (b.v. met fotografische processen) wordt ingebracht. Naar deze soort geheugens zal steeds meer vraag zijn in verband met de voortdurend toenemende hoeveelheid vaste informatie die men aan een elektronische rekenmachine in de vorm van vertalers, subroutines enz. wil meegeven. Een andere reden voor de vraag naar het niet-destructief kunnen uitlezen van geheugens is het gevaar dat bij de normale procedure, dat is het destructief uitlezen met hierop volgend

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

terugschrijven, een optredende stoorimpuls de inhoud van het geheugen zou kunnen veranderen. Dit zal vooral funest zijn bij geheugens in ruimtevaartuigen, doch ook bij telefooncentrales is het uiterst ongewenst: immers, een abonnee zou dan met een niet-gewenste andere abonnee kunnen worden verbonden, doordat plotseling diens nummer bij het terugschrijven in een geheugen blijvend zou zijn veranderd.

Er is nog steeds geen afdoende oplossing voor dit soort geheugens gevonden. Men heeft enkele oplossingen uitgewerkt, doch deze zijn nog wel voor verbetering vatbaar. Zo wordt door de Bell Laboratories in meergenoemde telefooncentrale de twistor als semi-permanent geheugenelement toegepast voor de registratie van vaste abonneegegevens en van programma's volgens welke het doorverbinden van een abonnee met

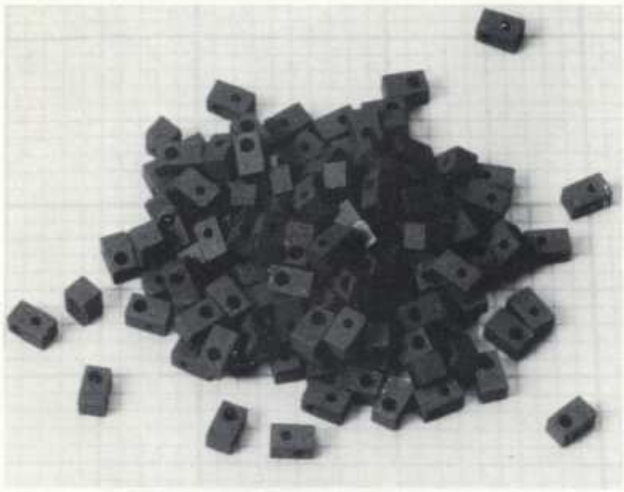


Fig. 9. Een stapeltje „Biax"-elementen voor een semi-permanent geheugen. Elk element bevat twee boringen met loodrecht op elkaar staande assen. De grootste afmeting van het element is ca. 2 mm.

een ander wordt afgewikkeld. Ook voor het „Biax"-element, een van de vele meergaten-ferrietelementen die men heeft bedacht (*fig. 9*), bestaat de laatste tijd een groeiende belangstelling in verband met zijn gebruik als bouwsteen in een niet-destructief geheugen dat snel kan worden uitgelezen (ca. 100 ns) en nog vrij snel kan worden beschreven (in de orde van enige µs).

Volledigheidshalve zij nog kort vermeld de herop-

komst van de vertragingslijn, in twee vormen, nl. de polygoonvorm van glas met zeer kleine temperatuurcoëfficiënt en de magnetostrictieve vertragingslijn [11]. Toegepast in niet al te grote seriemachines, kunnen deze vertragingslijnen dank zij de sterk toegenomen snelheid van de logica-schakelingen de sleutel vormen tot redelijk snelle en tegelijk goedkope oplossingen.

Langzame geheugens: trommels, schijven, magnetische band

De behoefte aan grotere geheugencapaciteiten dan die welke door de snelle werkgeheugens op economische basis verschaft konden worden, heeft zich reeds bij de eerste elektronische rekenmachines doen gevoelen. De prijs per bit moet hierbij de doorslaggevende factor zijn. Ook voor deze taak is nog steeds de magnetische registratiemethode onovertroffen in eenvoud en betrouwbaarheid, en dit zal nog wel jarenlang zo blijven, hoewel thans in de laboratoria aan enkele interessante technische vindingen wordt gewerkt, zoals b.v. de thermoplastische registratie. Overigens zal de laatstgenoemde methode waarschijnlijk geschikter zijn voor toepassing in een semi-permanent geheugen, aangezien de snelheid van beschrijven tamelijk gering is.

Van enkele representatieve geheugensoorten welke in dit hoofdstuk summier besproken zullen worden, zijn in *tabel IV* enkele getallen gegeven om de toestand van ca. 10 jaar geleden te vergelijken met die van thans.

Nog steeds is de *magnetische band* verreweg de goedkoopste informatiedrager; de prijs ligt in de orde van 0,001 cent per bit. De schrijfsnelheden bij de band zijn in deze tien jaar bijna een factor 30 toegenomen. De in de tabel vermelde snelheid van 170 000 bits/s slaat op de laatste ontwikkeling van IBM, de zg. hypertape.

Tabel IV. Representatieve gegevens van magnetische band, trommels en schijven in 1954 en 1964.

	1954	1964
Band:		
lees- en schrijfsnelheid (bits/s per spoor)	12 000	170 000
schrijfdichtheid (bits/mm)	4	60
start-stop-tijd (ms)	10	2-3
Trommels:		
gemiddelde opzoektijd (ms)	10-20	10-20
schrijfdichtheid (bits/mm)	2-5	26-40
capaciteit (bits)	10^5-10^6	10^7-10^8
Schijven:		
gemiddelde opzoektijd (ms)	600	20-200
schrijfdichtheid (bits/mm)	2-4	20-40
capaciteit (bits)	10^8	10^8-10^9
Magnetische kaarten:		
gemiddelde opzoektijd (ms)	—	100-600
schrijfdichtheid (bits/mm)	—	ca. 10
capaciteit (bits)	—	10^7-10^{10}

[8] R. Shahbender, C. Wentworth, K. Li, S. Hotchkiss en J. A. Rajchman, Laminated ferrite memory, AFIPS Conf. Proc. **24** (1963 Fall Joint Computer Conference), blz. 77-90.
[9] Over het begrip halfstroom bij het proces van inschrijven en uitlezen, zie b.v. H. J. Heijn en N. C. de Troye, Philips techn. T. **20**, 180-195, 1958, speciaal blz. 187.
[10] Zie ook: G. Prast, Een koudgaskoelmachine voor temperaturen tot 20 °K en lager, Philips techn. T. **26**, 1-11, 1964/65 (no. 1).
[11] Voor ultrasone vertragingslijnen zie b.v. C. F. Brockelsby en J. S. Palfreeman, Philips techn. T. **25**, 326, 1963 (no. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Intussen heeft op het gebied van de magnetische band de laatste jaren een stilzwijgende normalisatie plaatsgehad, doordat enige firma's bandeenheden op de markt brengen die de rollen band welke door IBM-machines zijn beschreven zonder meer kunnen lezen, en omgekeerd. Daarbij is men tot bandsnelheden gekomen van 75 en 150 inch/s en tot schrijfdichtheden van 200, 556 en 800 bits/inch.

Een groot probleem van mechanische aard is het snelle starten en stoppen, dat gewenst is ten einde zo weinig mogelijk onbeschreven band tussen blokken informatie te hebben. Normaal heeft men voor starten en stoppen een tijd van 7 ms nodig; met moderne technieken — waarvan de toepassing de bandeenheden nog vrij kostbaar maakt — kan een tijd van 2 à 3 ms bereikt worden (*fig. 10*).

Fig. 10. Magneetband-eenheden, in gebruik voor de rekenmachine CDC 3600/3200 in Philips' Rekencentrum te Eindhoven.

Het feit dat men bij magnetische band zeer grote opzoektijden heeft (in de orde van seconden tot minuten) doordat alle informatie achter elkaar geschreven is, heeft de wens naar „*random-access*"-*geheugens* gestimuleerd, dat zijn dus geheugens die zonder noemenswaardige wachttijd (met betrekking tot de toepassing) elk gewenst stukje informatie te voorschijn kunnen brengen. De ontwikkeling hiervan is in hoofdzaak in twee richtingen gegaan: de *trommelgeheugens* en de *schijfgeheugens*.

Hierboven stipten we reeds het feit aan dat niet zo lang geleden (ruim vijf jaar) in sommige niet zeer grote en snelle rekenmachines nog trommels als werkgeheugens werden gebruikt. Thans kan hiervan geen sprake meer zijn: de ringkernen hebben zich zover ontwikkeld dat omgekeerd de vraag interessant wordt of zij niet ook voor de geheugens met grote capaciteit, waarvoor men thans trommels gebruikt, een economische oplossing kunnen betekenen. Voorlopig echter heeft de trommel nog steeds een plaats als groot secundair geheugen met een capaciteit in de orde van 10^7 à 10^8 bits en een gemiddelde opzoektijd van ca. 10 ms (*fig. 11*).

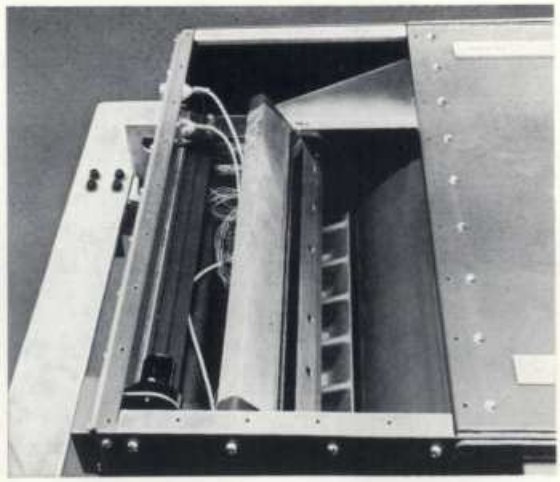
De laatste jaren heeft men de schrijfdichtheid op de trommel aanzienlijk kunnen vergroten door een nieuwe wijze van monteren van de leeskoppen. Men zorgt hierbij ervoor dat de koppen stabiel blijven zweven op een dunne luchtlaag die met de trommel meeroteert. Hierdoor heeft men de afstand tussen koppen en trommeloppervlak kunnen verminderen tot enige microns. Een andere verbetering aan trommels is het besparen van elektronische lees- en schrijfapparatuur door middelen om de koppen mechanisch over enige sporen te verschuiven. Deze gedachte is overigens al meer dan 10 jaar oud, doch zij was zonder de techniek van de zwevende koppen moeilijk goed te realiseren.

Een merkwaardige tussenvorm tussen band en trommel is de „carrousel tape" van de firma Facit. Om

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

a



b

Fig. 11. *a*) Geheugentrommel met bijbehorende apparatuur voor de aandrijving en voor het inschrijven en uitlezen. In *b*) is een der deksels verwijderd en de lijst met lees-schrijfkoppen is teruggeslagen om iets van de trommel te laten zien.

de opzoektijden te verkorten, is de band hierbij verdeeld in 64 kleine stukjes van elk ca. 10 m lang, die ieder op een rolletje zitten. De carrousel met de 64 rolletjes moet eerst draaien totdat het gewenste rolletje voor de leesinrichting staat, daarna moet de band van dit rolletje langs de leesinrichting aflopen. De gemiddelde opzoektijd bedraagt hierbij 1 à 2 s en is dus ten opzichte van normale bandeenheden met een factor 100 verkleind.

De schijfgeheugens, die bijna 10 jaar geleden hun entree maakten (Ramac 355), hebben soortgelijke verbeteringen ondergaan als de trommels, nl. een vergroting van de schrijfdichtheid en de capaciteit. Een speciale ontwikkeling op dit gebied is het schijfgeheugen voor de rekenmachine IBM 1440, waarbij men een compleet pakket schijven kan uitwisselen. Hiermede is dus in principe, evenals bij de magnetische band, een onbeperkte geheugencapaciteit verkregen, en de flexibiliteit is zeer vergroot.

Vermeld zij nog dat enige firma's (IBM, NCR, RCA) hebben getracht door een onderverdeling van het magnetische medium in pakketten *magnetische kaarten* de flexibiliteit te vergroten en de opzoektijd in een groot geheugen te verminderen.

Belangrijk is de zich steeds weer voordoende vraag of er na invoering van deze grote random-access-geheugens nog een plaats voor magneetbandgeheugens overblijft. De verwachting is uitgesproken dat men dan de magnetische band toch zal willen behouden als een soort reservegeheugen, bestemd om de schijfgeheugens daarin te kunnen „leeggieten" alvorens aan nieuwe taken te beginnen. Ook is de band te gebruiken om een nieuw uitgangspunt te hebben indien tijdens berekeningen een fout in de machine zou zijn opgetreden waardoor de informatie-inhoud van het schijfgeheugen onbetrouwbaar zou zijn geworden. Bij deze conceptie behoeft men geen zware mechanische eisen meer aan de bandeenheden te stellen; o.a. vervalt de eis van korte start- en stoptijden. Hierdoor kan de gehele eenheid veel goedkoper worden.

De mogelijkheid om te beschikken over geheugeneenheden in blokken van ca. 10^9 bits met opzoektijden van 0,1 à 0,2 s heeft de fantasie van velen geprikkeld tot plannen om te komen tot een grote rekenmachine, uitgerust met een zeer grote geheugencapaciteit, welke men naar analogie van een telefooncentrale zou kunnen laten werken als een soort *informatiecentrale*, die via een communicatienet (*datatransmissie-net*) is verbonden met een aantal abonnees. De abonnees zouden apparaturen kunnen bezitten van de meest uiteenlopende aard, van eenvoudige toetsenborden tot complete satellietrekenmachines, waarmee zij toegang kunnen krijgen tot en gebruik kunnen maken van alle reken- en geheugenfaciliteiten van de centrale.

Dat men in Amerika rekent op een sterke uitbreiding van het telefoonnet ten behoeve van de datatransmissie is een feit. Onzes inziens is de informatiecentrale een reëel toekomstbeeld. De rekenmachinetechniek zal dan echter nog meer redundantie moeten toepassen dan alleen maar de tot heden toegepaste opbouw in eenheden, ten einde de voor deze conceptie zo noodzakelijke betrouwbaarheid van het systeem als geheel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

te verkrijgen. Ook zal het doen werken van zo'n centrale een enorme hoeveelheid programmeerwerk vereisen.

Randapparatuur

Om een indruk te geven van de vooruitgang die in de afgelopen 10 jaar op het gebied van de randapparatuur bereikt is, zijn in *tabel V* enkele belangrijke gegevens

Tabel V. Snelheid van diverse soorten in- en uitvoerorganen in 1954 en 1964.

	1954	1964
Papierband-lezer	100	2000 karakters/s
,, -ponser	50	300 ,,
Ponskaarten-lezer	2	50 kaarten/s
,, -ponser	1	5 ,,
Regeldrukker	2,5	15-20 regels/s

betreffende de meest gebruikte in- en uitvoerorganen samengebracht. Bij het beschouwen van deze gegevens valt het op dat er in de invoerorganen een veel grotere vooruitgang in snelheid geboekt is (een factor 20) dan bij de uitvoerapparaten (een factor 6). De oorzaak hiervan is dat men bij de laatstgenoemde te maken heeft met mechanische begrenzingen, die bij de invoerorganen geëlimineerd konden worden door gebruik van optische middelen. Hier wordt uiteindelijk ook een mechanische grens gesteld, maar deze houdt meer verband met het hanteren van de informatiedrager (*ponskaarten* of *papierband*) dan met het afleesmechanisme. Zo is bekend dat de trekvastheid van papierband de snelheid van aflezen begrenst tot ca. 4000 karakters/s. Op de markt zijn een aantal bandlezers voor 1000 karakters/s, zodat hierin niet veel vooruitgang meer mogelijk is (*fig. 12*). In laboratoriumopstellingen heeft men 2000 karakters/s bereikt. De ponskaart is wat steviger dan de papierband, doch ook hier liggen de huidige resultaten al vrij dicht aan de grens van het fysisch mogelijke.

Wil men met de uitvoerorganen grotere snelheden bereiken, dan zal men geheel andere principes te hulp moeten roepen. Men onderzoekt o.a. een methode waarbij het ponsen niet geschiedt met behulp van een mechaniek, doch door een drukgolf die opgewekt wordt door een vonkoverslag [12]. Een soortgelijke werkwijze zou tot een snel druktoestel kunnen leiden. Een andere mogelijkheid is, het ponsen te vervangen door het aanbrengen van zwarte markeringen. Dit is tot dusverre niet erg betrouwbaar gebleken. De zwarte markeringen geven een te kleine marge tussen licht en donker bij diffuus gereflecteerd licht. De xerografische methodes, die men voor uitvoerorganen wil ontwikkelen, lijden eveneens aan het euvel van onbetrouwbaarheid, maar op andere wijze: hier ontbreekt de mogelijkheid om terzelfder tijd gegarandeerd identieke kopieën te produceren. Men heeft liever een fout, identiek in alle kopieën, dan een goede eerste afdruk, gevolgd door andere waarin een fout zou kunnen schuilen, of omgekeerd.

Fig. 12. In de handel verkrijgbare ponsbandlezer voor een leessnelheid van ca. 1000 karakters per seconde, in gebruik in Philips' Rekencentrum te Eindhoven.

Men kan zich afvragen of het nog zin heeft onderzoek te besteden aan een verdere verbetering van deze soort in- en uitvoerapparatuur, nu de methodes voor het *automatisch lezen* van getypte of gedrukte stukken zich aandienen.

Voor het bankwezen is zich reeds een normalisatie aan het voltrekken in de vorm van het lezen van gestyleerde magnetische tekens (type E 13 B); zie *fig. 13*. Deze normalisatie is begonnen in de Verenigde Staten en overgenomen door Canada, Australië en Engeland. Ook in West-Europa zijn voorstellen gedaan (type CMC 7 in fig. 13); het is echter nog niet duidelijk welke kant de ontwikkeling in Europa uit zal gaan [13].

Aan de optische tekenlezers, die uiteindelijk een veel groter toepassingsgebied zullen hebben, is reeds zeer veel ontwikkelingswerk geschied. Een belemmering voor algemenere toepassing is voorlopig een gebrek

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

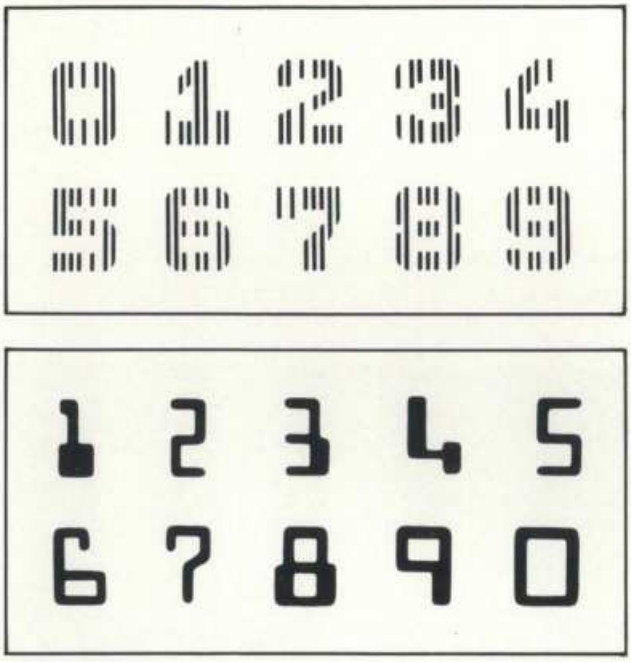


Fig. 13. Gestyleerde magnetische cijfers, die zowel direct met het oog te herkennen zijn alsook door aftasten automatisch gelezen kunnen worden. Boven type CMC 7, onder type E 13 B [13].

aan normalisatie van de te lezen lettertypes [14]. Doch IBM heeft reeds een optische lezer als directe ingang voor de rekenmachine 1401 toegepast. Deze heeft een leessnelheid van 480 tekens per seconde en de mogelijkheid om tot 400 documenten per minuut te hanteren. Misschien zal hiermede een standaard worden gesteld, waarbij andere fabrikanten van rekenmachines zich voorlopig zullen aansluiten.

Zullen deze optische lezers misschien het gehele karakter van de randapparatuur doen veranderen — behoudens de regeldrukkers die ook daarbij nodig blijven? Of zal er nog steeds een, zij het bescheidener, plaats blijven voor de oude getrouwe ponskaart als zeer duurzaam en flexibel geheugenmedium? We willen ons niet aan voorspellingen wagen, maar we verwachten dat op deze en allerlei andere vragen die in dit overzicht open gebleven zijn, reeds over enkele jaren een duidelijk antwoord gegeven zal kunnen worden: de snelle ontwikkeling van de rekenmachine, waarop wij aan het begin hebben gewezen, gaat voorlopig met onverminderde vaart verder.

---

[12] Zie G. Haas, Problemen en ontwikkelingstendensen van de randapparatuur bij de informatieverwerking, Philips techn. T., verschijnt binnenkort.

[13] W. J. Bijleveld, Automatic reading of digits, uitg. Stichting Studiecentrum voor Administratieve Automatisering, Amsterdam, maart 1963.

[14] Betreffende voorstellen tot normalisatie voor het lezen van cijfers, gedaan door de Nederlandse Postcheque- en Girodienst, zie: W. J. Bijleveld en A. J. van der Toorn, Methoden voor het met de hand invullen van automatisch te lezen getallen, Ingenieur **76**, A 693-702, 1964 (no. 46).

Samenvatting. Het artikel is een bewerking van een voordracht, gehouden door een der auteurs (v. d. W.) voor het Nederlands Rekenmachine-Genootschap. De besproken ontwikkelingen, die ten dele nog in volle gang zijn, betreffen 1) het verbeteren van de betrouwbaarheid, gepaard aan het realiseren van een compactere bouwwijze en grotere schakelsnelheden. Als essentiële stappen hierbij worden beschreven de miniatuurtechniek en vervolgens de microminiaturisering in de zg. geïntegreerde schakelingen, waarbij transistors en diodes tegelijk worden vervaardigd met weerstanden, condensatoren en verbindingsleidingen; 2) het verwezenlijken van steeds grotere geheugens, met behoud van een betrekkelijk gemakkelijke toegankelijkheid. De geleidelijke verkleining en versnelling van de magnetische ringkernen en de hierop aansluitende nieuwe technieken (dunne laagjes enz.) worden iets nader besproken; 3) de versnelling van het invoeren en uitvoeren van de gegevens. Hier doen mechanische begrenzingen hun invloed gevoelen en op dit punt zijn de vorderingen voorshands het kleinst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een gevoelige monitor voor röntgen- en gammastraling

H. van Ammers en J. Hesselink

539.1.074.2

In ziekenhuizen, laboratoria en fabrieken bestaat in steeds sterkere mate behoefte aan eenvoudige, handzame instrumenten waarmee men op allerlei plaatsen kan nagaan of er ioniserende straling aanwezig is, en zo ja, in welke mate. Deze zg. stralingsmonitors behoeven het stralingsniveau — exacter gezegd: de exposiesnelheid [1] — niet te meten met een uitzonderlijk grote precisie, maar wel moeten ze een grote gevoeligheid hebben, d.w.z. men moet er zeer kleine exposiesnelheden nog goed mee kunnen meten. Ook moeten ze in bepaalde gevallen, b.v. bij gebruik in ruimten voor röntgendiagnostiek, reageren op relatief zachte straling (d.i. straling met een relatief geringe quantumenergie).

In het volgende willen we een door Philips ontwikkelde stralingsmonitor bespreken die uitermate gevoelig is, die ook op zeer zachte röntgen- en gammastraling reageert en waarmee men, behalve exposiesnelheden, ook exposies kan meten (*fig. 1*). Dank zij laatstgenoemde eigenschap kan men het instrument, behalve voor het meten van stralingsniveaus en het controleren van de doeltreffendheid van afschermingen, dus ook gebruiken om b.v. na te gaan aan welke exposie een met radioactief materiaal werkende onderzoeker is blootgesteld die voor het goede verloop van zijn metingen noodzakelijk enige tijd in de nabijheid van zijn apparatuur heeft moeten doorbrengen. Zowel voor het meten van de exposiesnelheid als van de exposie kan de bovengrens van het meetgebied worden ingesteld op drie verschillende waarden, te weten resp. 1, 10 en 100 mR/uur, en 1, 10 en 100 mR. De aanwijzing is binnen 15% nauwkeurig.

Het voor straling gevoelige element van de nieuwe monitor wordt gevormd door een cilindervormige ionisatiekamer; een deel hiervan ziet men rechts op fig. 1. De cilinderwand is van polystyreen en heeft een dikte van 4 mm. De voorzijde is gemaakt van tropenvast hardpapier met een dikte van 0,5 mm (70 mg/cm²). Deze wanden zijn dun genoeg om met de ionisatiekamer ook zachte röntgenstraling te kunnen detecteren maar anderzijds toch dik genoeg om een voldoende mechanische sterkte te waarborgen (*fig. 2*). Is de straling die men meet niet al te zacht (quantumenergie groter dan 35 keV), dan kan desgewenst ter bescherming op de voorwand een deksel van polystyreen worden gezet dat even dik is als de zijwanden. De binnenzijde van de kamerwand is geleidend gemaakt.

Fig. 1. De stralingsmonitor XL1000/00. Men kan zowel de exposiesnelheid als de exposie meten. Voor beide kan de bovengrens op drie waarden worden ingesteld, te weten 1, 10 en 100 mR/h (resp. mR). Het veranderen van het meetgebied geschiedt met de linkerknop, het overschakelen van „exposiesnelheid" op „exposie" met de drukknop in het midden. Het instellen van het nulpunt geschiedt met de rechterknop. De monitor reageert ook op vrij zachte straling. De aanwijzing is in een groot gebied van stralenkwaliteiten binnen 15% nauwkeurig. Door de speciale vormgeving ligt het instrument prettig in de hand en is de meter zeer gemakkelijk af te lezen. Het gewicht bedraagt ca. 1,9 kg.

Ir. H. van Ammers en J. Hesselink zijn medewerkers van het Elektromedisch Laboratorium van Philips' Hoofdindustriegroep Röntgen- en Medische Apparaten, Eindhoven.

[1] Indien het niet gaat om de door absorptie van straling op een bepaalde plaats door het lichaam opgenomen energie, maar alleen om het stralingsniveau op een bepaalde plaats in de ruimte — maat: de ionisatie in lucht —, gebruikt men thans in plaats van de termen „dosis" en „doseringssnelheid" de termen „exposie" en „exposiesnelheid".

Zie voor de definitie van de begrippen *doseringssnelheid* en *dosis* b.v. het artikel: J. Hesselink en K. Reinsma, Dosismeters voor röntgenstraling, Philips techn. T. **23**, 47-59, 1961, waarin ook de fysische grondslagen van de dosismeting zijn uiteengezet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

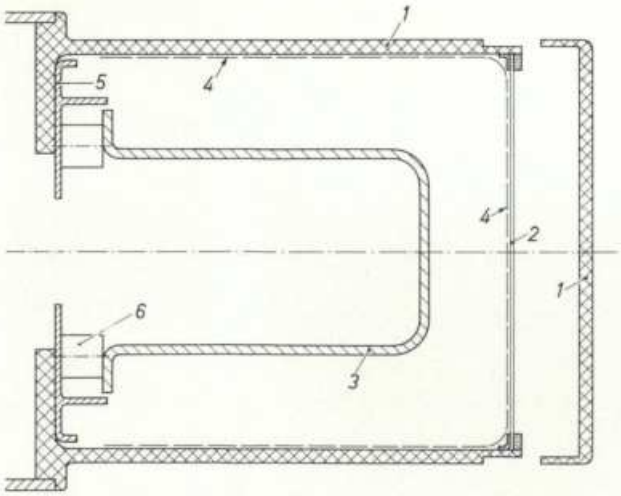


Fig. 2. Axiale doorsnede van de ionisatiekamer. Het gevoelig volume bedraagt ca. 850 cm³. De binnenelektrode heeft de vorm van een cilindrische bus en huisvest de elektrometerbuis en enkele andere belangrijke schakelingselementen (R_1, C_1 en C_2 van fig. 4). *1* zijwand en kap (rechts) van polystyreen. *2* voorwand van hardpapier. *3* binnenelektrode van grafiet-„Philite". *4* geleidend laagje. *5* lekelektrode van aluminium. *6* zeer goed isolerende ring van methacrylaat.

De tweede elektrode heeft niet, zoals meestal bij ionisatiekamers, de vorm van een pen, maar wordt gevormd door een bus van grafiet-„Philite". In deze bus, die van achteren eveneens afgesloten is, zijn die onderdelen van de elektronische schakeling ondergebracht welke niet mogen blootstaan aan de mogelijkheid van vervuiling; de voornaamste daarvan zijn de elektrometerbuis en de meetweerstand, zie hieronder.

De aanwijzing van het instrument hangt in een groot gebied slechts zwak af van de stralenkwaliteit (quantumenergie). In iets sterkere mate hangt de aanwijzing af van de richting waaruit de straling komt, maar voor niet al te zachte straling is ook dit effect niet van erg veel belang; zie *fig. 3*.

Voor het controleren van de goede werking kan men op de ionisatiekamer een deksel aanbrengen waarin zich een zwak radioactief preparaat bevindt (^{137}Cs; sterkte minder dan 1 μC).

De schakeling

Aan de schakeling, die we zullen bespreken aan de hand van *fig. 4*, kan men drie delen onderscheiden, te weten 1) de ingangsschakeling, 2) de versterker, en 3) het voedingsgedeelte. In de figuur zijn deze delen resp. getekend in de vakken *a*, *b* en *c*. We beginnen met de ingangsschakeling.

Als het apparaat is ingeschakeld, heeft de wand *A* van de ionisatiekamer ten opzichte van de lekelektrode *B* een potentiaal van ca. +50 V. De potentiaal van de binnenelektrode *C* is ongeveer gelijk aan die van *B*. Staan nu de schakelaars D_1 en D_2 in de getekende stand, dan vloeit er bij bestraling van de kamer door de weer-

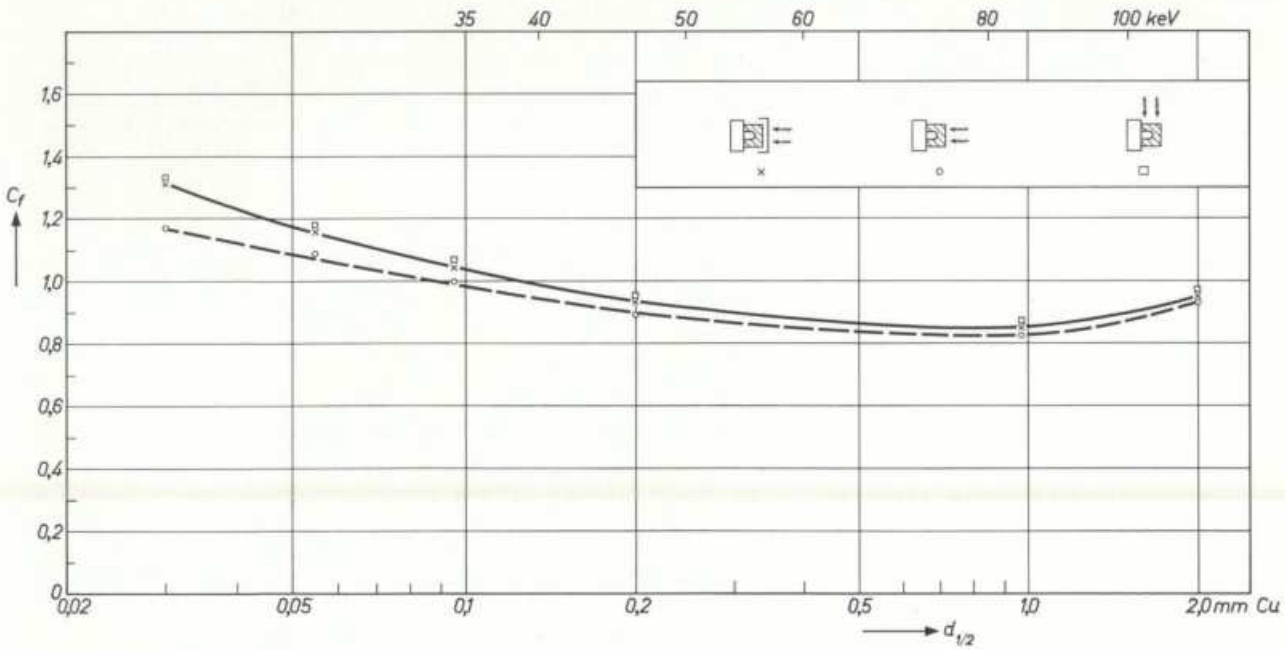


Fig. 3. De aanwijzing van het instrument hangt in een groot gebied slechts zwak af van de stralenkwaliteit. De figuur toont voor drie meetsituaties (zie de schetsjes) het verloop met de stralenkwaliteit (uitgedrukt in de halveringsdikte $d_{\frac{1}{2}}$ voor koper) van de factor C_f waarmee men de aanwijzing van het instrument moet vermenigvuldigen om de ware exposiesnelheid (exposie) te vinden. De getrokken curve geldt voor het geval dat de kamer, met kap, van voren bestraald wordt; de streeplijn voor hetzelfde geval maar nu zonder kap. Bij bestraling van opzij vindt men waarden die vrijwel op de getrokken curve liggen. Bij schuine inval liggen de waarden tussen de curven in. Bij $d_{\frac{1}{2}} > 0{,}1$ mm Cu is de invalsrichting nauwelijks van invloed. De minimumwaarde van C_f is 0,85; in een groot gebied van stralenkwaliteiten wijkt de aanwijzing dus minder dan 15% af. Langs de abscis is ook de quantumenergie van monochromatische straling met de desbetreffende halveringsdikte aangegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

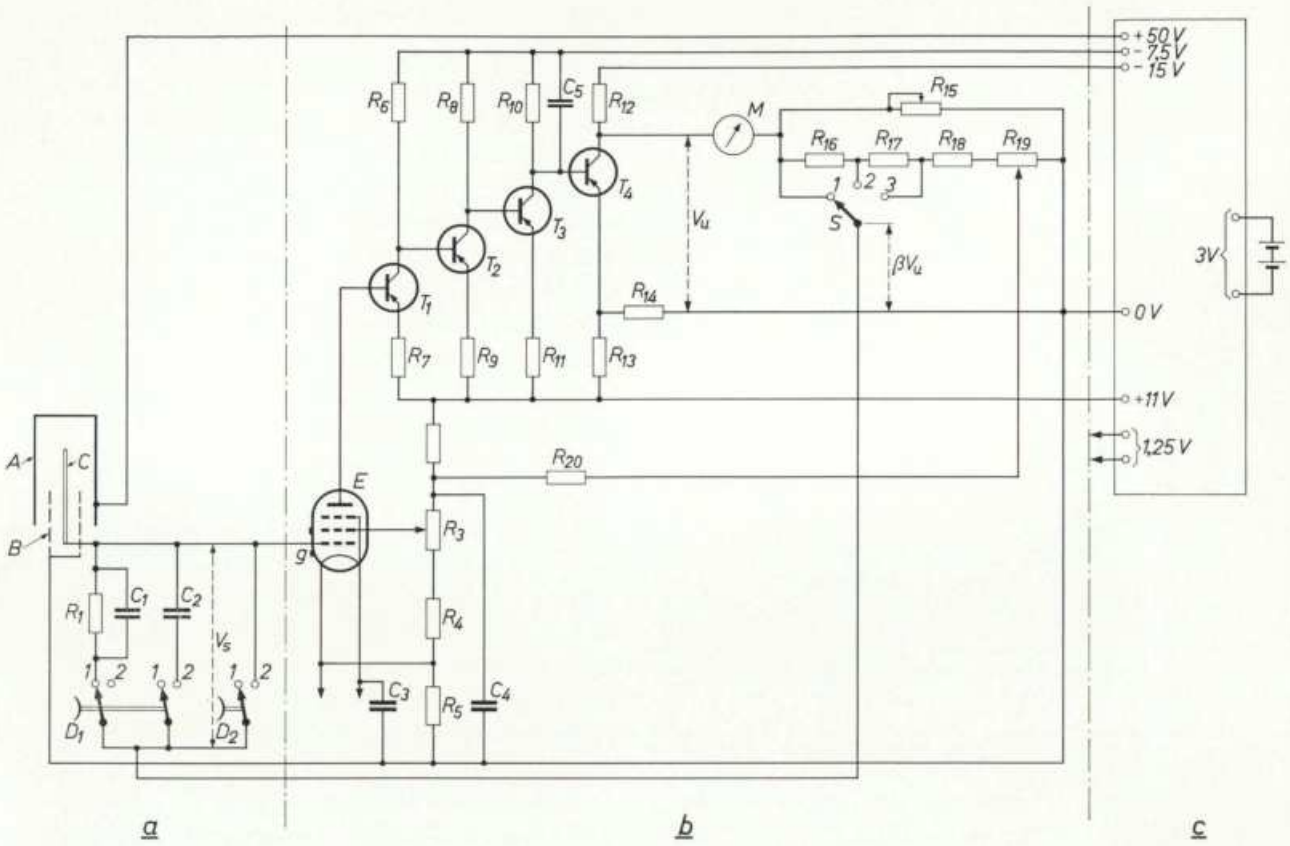


Fig. 4. De schakeling; links (vak *a*) de ionisatiekamer met meetweerstand R_1 en meetcapaciteit C_2; midden (vak *b*) de versterker met meter M en tegenkoppelschakeling (R_{15} t/m R_{19}); rechts (vak *c*) het voedingsgedeelte — als energiebron fungeren twee batterijen van 1,5 volt, voor het overige bestaat het voedingsgedeelte uit een gelijkstroomomzetter met stabilisatieschakeling.

De wand A van de ionisatiekamer is verbonden met de uitgang +50 V van het voedingsgedeelte, de lekelektrode B met de uitgang 0 V. De binnenelektrode is verbonden met het stuurrooster van de elektrometerbuis E (type CK 5889; deze buis heeft een uitwendige lekelektrode g). De verbinding van C met E is geïsoleerd met plexiglas. De waarde van R_1 bedraagt 10^{12} Ω; C_1 bestaat uit twee condensatoren van 5,6 pF in serie en heeft een lekweerstand van meer dan 10^{13} Ω. Met D_1 kan men overschakelen van „exposiesnelheid" op „exposie"; met D_2 kan men in een stralingsveld de nulstand controleren en, na een dosismeting, C_2 ontladen. T_1 t/m T_4 zijn siliciumtransistors (type BCZ 11) en derhalve weinig gevoelig voor temperatuurvariaties. Het overschakelen op een ander meetgebied geschiedt door met S de mate van tegenkoppeling te veranderen. Het instellen van het nulpunt geschiedt grof door variatie van de schermroosterspanning met R_3 en fijn via de tegenkoppeling door middel van R_{19}. De condensatoren C_3, C_4 en C_5 verhinderen dat de versterker gaat oscilleren.

stand R_1 een stroom I welke nagenoeg gelijk is aan de ionisatiestroom die door de kamer van A naar C vloeit. Bij deze stand van D_1 meet men de exposiesnelheid. Zet men schakelaar D_1 in stand *2*, dan laadt de stroom I de condensator C_2 en meet men een exposie. Het potentiaalverschil V_s dat door het vloeien van I over R_1 (of C_2) komt te staan, is het ingangssignaal voor de versterker. Met de schakelaar D_2 kan men, na een exposiemeting gedaan te hebben, de condensator C_2 weer ontladen; verder kan men er — ook *in* een stralingsveld — de nulstand mee controleren, zie hieronder.

De versterker (vak *b*) bestaat uit twee hoofddelen: de eigenlijke versterkschakeling (links) en een tegenkoppelschakeling (rechtsboven). Het eerste versterkende element wordt gevormd door een elektrometerbuis E, de vier andere door de transistors T_1 t/m T_4. Zonder tegenkoppeling geeft de versterker een spanningsversterking A van 10^4. De anodestroom van E, die ca. 5 μA bedraagt, is tevens basisstroom voor T_1. Zoals men ziet, vloeit de roosterstroom van de buis E door de meetweerstand R_1; dit is oorzaak van het genoemde kleine verschil tussen I en de ionisatiestroom (de roosterstroom is ten hoogste 3×10^{-15} A; bij 1 mR/h is de ionisatiestroom ongeveer 7×10^{-14} A ofwel ca. 25× zo groot).

De tegenkoppelschakeling wordt gevormd door de weerstanden R_{15} t/m R_{19} en de driestandenschakelaar S. Deze schakeling dient niet alleen voor het stabiliseren van de versterkingsfactor maar men kan er tevens het gewenste meetgebied mee instellen. Door de schakelaar S in een andere stand te zetten, verandert men het deel β van het uitgangssignaal V_u van de versterker dat naar de ingang wordt teruggeleid. De waarden van de weerstanden zijn zo gekozen dat β in de drie standen van S resp. de waarden 10^{-2}, 10^{-1} en 1 heeft. De ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sterkingsfactor $A/(1 + A\beta)$ van de versterker met ingeschakelde tegenkoppeling, die nagenoeg gelijk is aan $1/\beta$, is dus resp. 100, 10 en 1. De variabele weerstand R_{15} dient als fijnregeling. Het instellen van het nulpunt geschiedt grof met R_3 en fijn met R_{19}; met R_3 varieert men de schermroosterspanning van de elektrometerbuis, met R_{19} beïnvloedt men de spanning die via de tegenkoppelschakeling naar de ingang wordt teruggevoerd.

Het regelen van het nulpunt met behulp van de weerstand R_{19} die deel uitmaakt van de tegenkoppelschakeling, is noodzakelijk omdat men in het algemeen de wijzer van het meetinstrument naar nul zal willen brengen terwijl de schakelaar D_2 geopend is, en wel om de bijdrage van de roosterstroom te elimineren. Men krijgt dan echter te maken met het feit dat de tijdconstante van de ingangsschakeling vrij groot is (3 seconde). Iedere verandering van V_u wordt dan dus slechts langzaam gevolgd door de corresponderende verandering van de potentiaal V_C van C. Gedurende de tijd die verloopt alvorens de nieuwe evenwichtstoestand zich heeft ingesteld, vertoont de meter M een zekere uitslag. Bij een rechtstreekse regeling zou V_C evenveel moeten veranderen als V_u en zou deze uitslag groot en dus hinderlijk zijn. Bij regeling via de tegenkoppeling is de met de vereiste variatie van V_u corresponderende variatie van V_C echter zeer veel kleiner en is het stooreffect zo gering dat het nauwelijks merkbaar is.

De voeding van de nieuwe monitor geschiedt door middel van twee in serie geschakelde staafbatterijen van 1,5 volt; dergelijke batterijen zijn nagenoeg overal ter wereld verkrijgbaar. De voor de ionisatiekamer en de versterker vereiste spanningen worden hieruit verkregen door middel van een gelijkspanningsomzetter plus stabilisatieschakeling. De omzetter is op de gebruikelijke wijze samengesteld uit een transformator en twee transistors die als schakelaar fungeren [2]. De uitgangsspanning van de transformator wordt gestabiliseerd met een zg. Zener-diode, dat is een vastestofdiode die bij een vrij lage, nauwkeurig vastliggende, keerspanning doorslaat [3]. Deze gestabiliseerde secundaire spanning fungeert als ingangsspanning van een tweede transformator. De uitgangsspanning hiervan wordt gelijkgericht en afgevlakt. De schakelingen voor −7,5 V en −15 V, door welke de transistors gevoed worden, hebben voor lage frequenties een zeer kleine impedantie.

Doordat er in de versterker transistors gebruikt zijn, kan de uitslag niet geheel onafhankelijk zijn van de kamertemperatuur. Door echter siliciumtransistors te gebruiken, is dit effect zo veel mogelijk gereduceerd [4]. Voor het meten van de exposiesnelheid — waarbij men in het algemeen toch begint met het op nul zetten van de meter — is het temperatuureffect nauwelijks van belang.

---

[2] Zie b.v. Th. Hehenkamp en J. J. Wilting, Philips techn. T. **20** 347, 1958.
[3] Zie b.v. L. P. Hunter, Handbook of semiconductor electronics, hfdst. 1, McGraw Hill, New York 1962.
[4] Zie hiervoor b.v. J. P. Beijersbergen, M. Beun en J. te Winkel, Philips techn. T. **20**, 38, 1958, speciaal blz. 50.

Samenvatting. Beschreven wordt een stralingsmonitor die is uitgerust met een dunwandige ionisatiekamer en die daardoor ook reageert op vrij zachte straling. Ook is de monitor zeer gevoelig. Men kan er zowel exposiesnelheden als exposies mee meten. Er zijn voor beide gevallen drie meetgebieden t.w.: 1, 10 en 100 mR/h, resp. mR. De spanning die de ionisatiestroom bij bestraling teweegbrengt over de meetweerstand (-condensator), wordt eerst versterkt door een elektrometerbuis en vervolgens door vier transistors. De versterker is voorzien van een tegenkoppeling, waarmee tevens op een ander meetgebied kan worden overgeschakeld. De voeding geschiedt door middel van twee 1,5-voltsbatterijen en een omzetter met stabilisator. Met een zwak radioactief preparaat (^{137}Cs; sterkte $< 1\ \mu$C) kan worden gecontroleerd of het instrument goed werkt. Het nulpunt kan nauwkeurig worden ingesteld en — ook in een stralingsveld — steeds worden gecontroleerd. De aanwijzing hangt slechts zwak van de stralenkwaliteit af en is in een groot gebied van stralenkwaliteiten binnen ongeveer 15% nauwkeurig.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Breukvlak van glas

Breukvlak van scherf van de ballon van een televisiebeeldbuis, opgenomen met de elektronenmicroscoop enige uren na het breken. Vergroting ca. 20000×. Reeds ongeveer een uur na het breken worden sporen van aantasting zichtbaar: waarschijnlijk betreft dit lokale opzwellingen door de inwerking van water (laagjes kiezelzuurgel). Na enige uren is dikwijls een soort ijsbloempatroon ontstaan, waarvan de foto een voorbeeld geeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties van medewerkers van Philips' laboratoria en fabrieken

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken. Voor het aanvragen behoeft men slechts het cursief gedrukte nummer van de gewenste publikaties op te geven.

W. Albers, C. Haas en **H. J. Vink:** Quenching effects and the determination of the existence region of semiconducting compounds.
Philips Res. Repts. **18**, 372-376, 1963 (no. 4). *R 486*

E. Andrich: Anwendung von PTC-Widerständen.
Elektron. Rdsch. **17**, 132, 135, 136, 138, 1963 (no. 3). *A 73*

P. Beekenkamp en **J. M. Stevels:** The structure of some glasses of the composition $M^{III}M^{V}O_4$.
Phys. Chem. Glasses **4**, 229-233, 1963 (no. 6). *3319*

V. Belevitch: Factorization of scattering matrices with applications to passive-network synthesis.
Philips Res. Repts. **18**, 275-317, 1963 (no. 4). *R 481*

G. Blasse: New types of cation-order in the rocksalt lattice: the structure of Li_3SbO_4 and Li_3NbO_4.
Z. anorg. allgem. Chemie **326**, 44-46, 1963 (no. 1/2). *3313*

G. Blasse: New type of superexchange in the spinel structure; some magnetic properties of oxides $Me^{2+}Co_2O_4$ and $Me^{2+}Rh_2O_4$ with spinel structure.
Philips Res. Repts. **18**, 383-392, 1963 (no. 5). *R 488*

G. Blasse: Magnetic properties of oxidic spinels containing tetravalent manganese.
Philips Res. Repts. **18**, 400-404, 1963 (no. 5). *R 490*

G. Blasse: Magnetic-garnet phases containing pentavalent antimony.
Philips Res. Repts. **19**, 68-72, 1964 (no. 1). *R 500*

G. Blasse en **J. F. Fast:** Néel temperatures of some antiferromagnetic oxides with spinel structure.
Philips Res. Repts. **18**, 393-399, 1963 (no. 5). *R 489*

G. Brouwer: Graphical analysis of stationary surface injection phenomena in semiconductors.
Philips Res. Repts. **18**, 432-446, 1963 (no. 5). *R 493*

G. P. Brouwer: Brightness variations on tungsten ribbon.
Philips Res. Repts. **18**, 361-371, 1963 (no. 4). *R 485*

C. M. van der Burgt en **A. L. Stuijts:** Developments in ferrite ceramics with strong piezomagnetic coupling.
Ultrasonics **1**, 199-210, 1963 (Oct./Dec.). *3303*

H. B. G. Casimir: Reciprocity theorems and irreversible processes.
Proc. IEEE **51**, 1570-1573, 1963 (no. 11). *3317*

S. Duinker en **J. A. Geurst:** Long-wavelength response of magnetic reproducing heads with rounded outer edges.
Philips Res. Repts. **19**, 1-28, 1964 (no. 1). *R 496*

C. Fengler: The reflection of a pulse at an Epstein profile.
Proc. int. Conf. on the ionosphere, Londen 1962, blz. 400-405, uitg. Inst. Phys./Phys. Soc., Londen 1963. *H 30*

R. A. Ford, E. Kauer, A. Rabenau en **D. A. Brown:** The electronic states of octahedral and tetrahedral Mn^{++} in α, β and γ manganous sulphide.
Ber. Bunsenges. phys. Chemie **67**, 460-465, 1963 (no. 5). *A 76*

S. Garbe: Desorptionsvorgänge in Ionisationsmanometern bei Beschuß von ölbedeckten Oberflächen mit langsamen Elektronen.
Vakuum-Technik **12**, 201-205, 1963 (no. 7). *A 83*

J. A. Geurst: The reciprocity principle in the theory of magnetic recording.
Proc. IEEE **51**, 1573-1577, 1963 (no. 11). *3316*

A. H. Gomes de Mesquita, C. Langereis en **J. I. Leenhouts:** The structure of $NbSn_2$.
Philips Res. Repts. **18**, 377-382, 1963 (no. 5). *R 487*

W. van Gool: Theoretical considerations about the determination of the structure of lattice defects by phase equilibria.
Proc. Kon. Ned. Akad. Wet. **B 66**, 311-331, 1963 (no. 5). *3306*

W. J. A. Goossens en **H. J. G. Meyer:** Enkele basisbegrippen uit de fysica van halfgeleiders, II en III.
Ned. T. Natuurk. **29**, 387-399 en 409-418, 1963 (nos. 10 en 11). *3309* en *3315*
(Vervolg van *3025*.)

R. Groth en **E. Kauer:** Lichterzeugung mittels thermischer Selektivstrahler.
Z. angew. Phys. **16**, 130-143, 1963 (no. 2). *A 78*
Zie ook Philips techn. T. **25**, 349-365, 1963 (no. 11/12).

N. Hansen: Gettereigenschaften von nichtverdampften Gettern mit Porendiffusion und Chemisorption.
Vakuum-Technik **12**, 167-173, 1963 (no. 6). *A 79*

N. Hansen en **W. Littmann:** Automatisches Gerät zur Bestimmung der Oberflächengröße feinteiliger Substanzen.
Z. Instrumentenk. **71**, 153-159, 1963 (no. 6). *A 77*

E. Kauer: Optical and electrical properties of LaB_6.
Physics Letters **7**, 171-173, 1963 (no. 3). *A 82*

W. F. Knippenberg: Growth phenomena in silicon carbide. (Dissertatie Leiden, juni 1963.)
Philips Res. Repts. **18**, 161-274, 1963 (no. 3). *R 480*

J. A. Kok, J. W. Poll en **C. E. G. M. M. van Vroonhoven:** Breakdown tests carried out on liquefied gases.
Appl. sci. Res. **B 10**, 257-268, 1963 (no. 3/4). *3305*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

J. J. van Loef en **P. J. M. Franssen:** The Mössbauer effect in the hexagonal ferrite $BaO.6Fe_2O_3$.
Physics Letters **7**, 225-226, 1963 (no. 4). *3304*

J. L. Meijering: Miscibility gaps in ferromagnetic alloy systems.
Philips Res. Repts. **18**, 318-330, 1963 (no. 4). *R 482*

R. Memming: Surface recombination at higher injection levels.
Surface Sci. **1**, 88-101, 1964 (no. 1). *H 31*

R. Memming: Formation of fast surface states by cupric ions at the germanium-electrolyte interface.
Physics Letters **7**, 89-90, 1963 (no. 2). *H 38*

B. J. Mulder en **J. de Jonge:** On the sensitization of the photoconduction of anthracene by organic dyes.
Proc. Kon. Ned. Akad. Wet. **B 66**, 303-310, 1963 (no. 5). *3307*

B. Okkerse: Consecutive Laue and Bragg reflexions in the same perfect crystal.
Philips Res. Repts. **18**, 413-431, 1963 (no. 5). *R 492*

S. C. Rademaker en **H. J. de Rouw:** Quelques possibilités d'identification des cordes dans le verre.
Silicates industr. **28**, 541-544, 1963 (no. 12). *3311*

H. G. Reik: Derivation of Holstein's expression for the high temperature mobility of small polarons from Kubo's formula.
Physics Letters **5**, 236-237, 1963 (no. 4). *A 72*

H. G. Reik: Optical properties of small polarons in the infrared.
Solid State Comm. **1**, 67-71, 1963 (no. 3). *A 80*

E. Roeder en **M. Klerk:** Untersuchungen mit dem Elektronenstrahl-Mikroanalysator an druckgesintertem Tantalkarbid mit geringem Mangan- und Nickelzusatz.
Z. Metallk. **54**, 462-470, 1963 (no. 8). *A 75*

K. J. Schmidt-Tiedemann: Tensor theory of the conductivity of warm electrons in cubic semiconductors.
Philips Res. Repts. **18**, 338-360, 1963 (no. 4). *R 484*

P. Schnabel: Four-point method for measuring the anisotropy of resistivity.
Philips Res. Repts. **19**, 43-52, 1964 (no. 1). *R 498*

S. Scholz: The density-time relation in hot pressing.
Planseeber. Pulvermetallurgie **11**, 82-84, 1963 (no. 2). *A 84*

J. Schröder: Apparatus for determining the thermal conductivity of solids in the temperature range from 20 to 200 °C.
Rev. sci. Instr. **34**, 615-621, 1963 (no. 6). *A 74*

J. A. Schulkes en **G. Blasse:** Crystallographic and magnetic properties of the systems lithium ferrite-aluminate and lithium ferrite-gallate.
J. Phys. Chem. Solids **24**, 1651-1655, 1963 (no. 12). *3312*

F. Sellberg: Plasma resonance in a germanium rod.
Philips Res. Repts. **19**, 53-67, 1964 (no. 1). *R 499*

A. Smit en **P. Westerhof:** Investigations on sterols, XXI. An alternative route for the synthesis of some 6-dehydro-9β,10α-steroid hormone analogues.
Rec. Trav. chim. Pays-Bas **82**, 1107-1114, 1963 (no.11). *3310*

M. J. Sparnaay: The interaction between germanium and cupric ions in an aqueous solution.
Surface Sci. **1**, 102-109, 1964 (no. 1). *3308*

A. Stegherr, P. Eckerlin en **F. Wald:** Untersuchung der Schnitte Ag_2Te-Bi_2Te_3 und $AgBiTe_2$-PbTe.
Z. Metallk. **54**, 598-600, 1963 (no. 10). *A 81*

J. M. Stevels en **J. Volger:** Impurity-induced imperfections and the dielectric properties of quartz crystals.
Phys. Chem. Glasses **4**, 247-252, 1963 (no. 6). *3318*

N. C. de Troye: Some properties of symmetric switching functions.
Philips Res. Repts. **18**, 331-337, 1963 (no. 4). *R 483*

W. A. J. J. Velge en **K. J. de Vos:** Influence of milling upon the magnetic properties of the intermetallic compound MnAlGe.
J. appl. Phys. **34**, 3568-3571, 1963 (no. 12). *3320*

J. L. Verster: On the use of gauzes in electron optics. (Dissertatie Delft, okt. 1963.)
Philips Res. Repts. **18**, 465-605, 1963 (no. 6). *R 495*

J. Verweel: Permeability of dense nickel-zinc ferrites in polarizing fields.
Philips Res. Repts. **19**, 29-42, 1964 (no. 1). *R 497*

K. J. de Vos: Refined replicating technique for studying structural changes in alnico-type permanent-magnet alloys.
Philips Res. Repts. **18**, 405-412, 1963 (no. 5). *R 491*

J. S. van Wieringen en **J. G. Rensen:** Influence of lattice imperfections on the paramagnetic resonance of V^{2+} and Cr^{3+} in MgO.
Low Symp. on paramagnetic resonance, deel 1, blz. 105-112, Academic Press, New York 1963. *3314*

W. J. Witteman en **Th. Werkman:** Cylindrical high-pressure apparatus.
Philips Res. Repts. **18**, 447-463 (no. 5). *R 494*

Jaargang 26, 1964/65, no. 3 blz. 69-104 Verschenen 25 februari 1965

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!